



Departamento de Engenharia Civil
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

ESTABILIDADE DE TALUDES E ENCOSTAS

Aula 1

Prof: Leonardo Guimarães

INTRODUÇÃO

Bibliografia

CAPUTO, H. P. (1988) Mecânica dos Solos e suas Aplicações. Vols. 1, 2, 3 e 4. Editora Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro;

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. (1976) Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Ed. Edgard Blücher;

ALMEIDA, M. S. S. (1996) Aterros sobre Solos Moles. UFRJ. Rio de Janeiro;

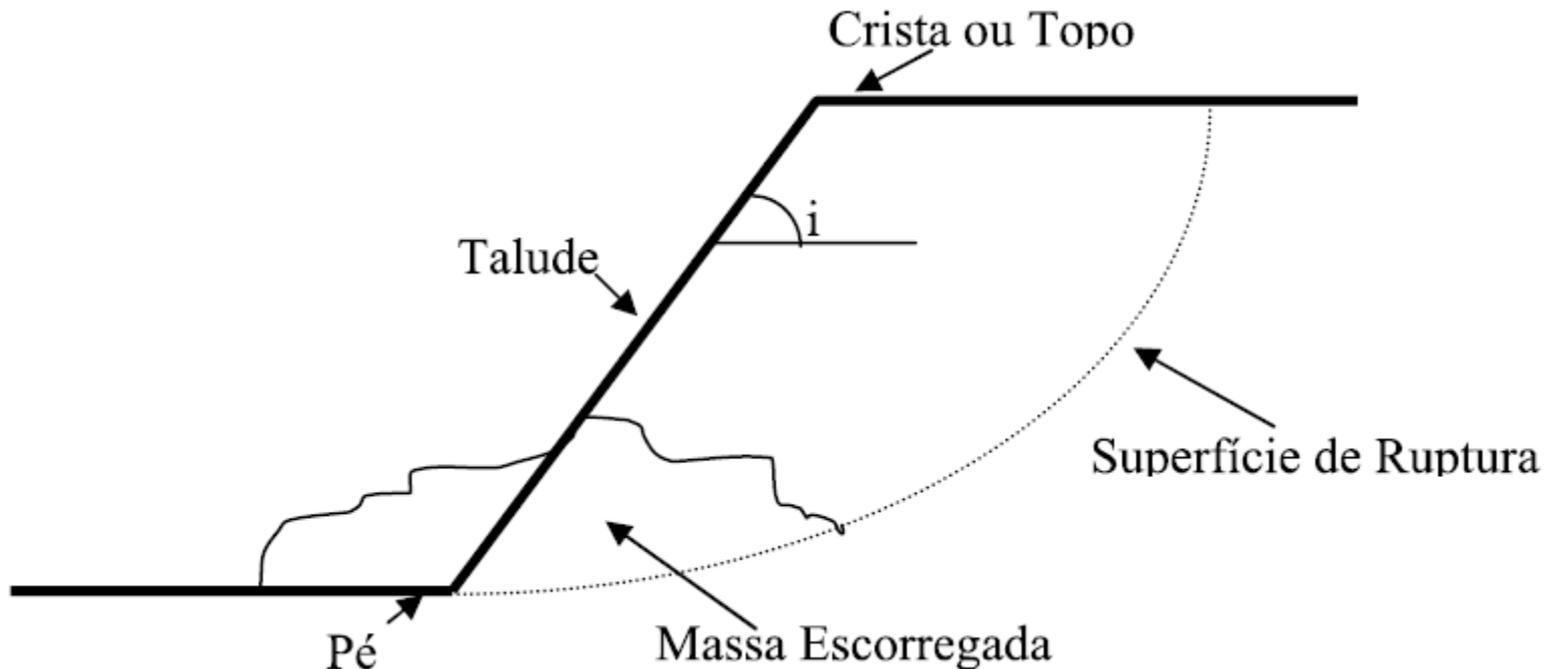
ALONSO, U. R. (1999) Rebaixamento Temporário de Aquíferos. Laramara, 131 pp. São Paulo;

LIMA, M. J. C. P. A. (1979) Prospecção Geotécnica do Subsolo. Ed. Livros Técnicos e Científicos

MASSAD, F. (2003) Obras de terra – Curso básico de geotecnia. Editora Oficina de Textos. 170p.

UM TALUDE PODE SER DEFINIDO COMO UMA SUPERFÍCIE INCLINADA QUE DELIMITA UM MACIÇO TERROSO OU ROCHOSO.

EM GERAL, É COMPOSTO DE:



SIGNIFICADO SÓCIO-ECONÔMICO:

CONSEQUÊNCIAS DESASTROSAS;

GRANDE TENDÊNCIA DE AUMENTO DE EVENTOS DE INSTABILIZAÇÃO DEVIDO A:

- AUMENTO DA URBANIZAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO DE ÁREAS SUJEITAS A ESCORREGAMENTOS;**
- DESFLORESTAMENTO CONTÍNUO DESTAS ÁREAS;**
- AUMENTO DAS TAXAS DE PRECIPITAÇÃO DEVIDO A MUDANÇAS CLIMÁTICAS.**

SIGNIFICADO SÓCIO-ECONÔMICO:

CUSTOS DIRETOS:

- REPARO DE DANOS, RELOCAÇÃO DE ESTRUTURAS E MANUTENÇÃO DE OBRAS E INSTALAÇÕES DE CONTENÇÕES;

CUSTOS INDIRETOS (MAIORES):

- PERDA DE PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL, AGRÍCOLA E FLORESTAL;

- PERDA DE POTENCIAL TURÍSTICO E INTERRUPTÃO DE SISTEMA DE TRANSPORTES;

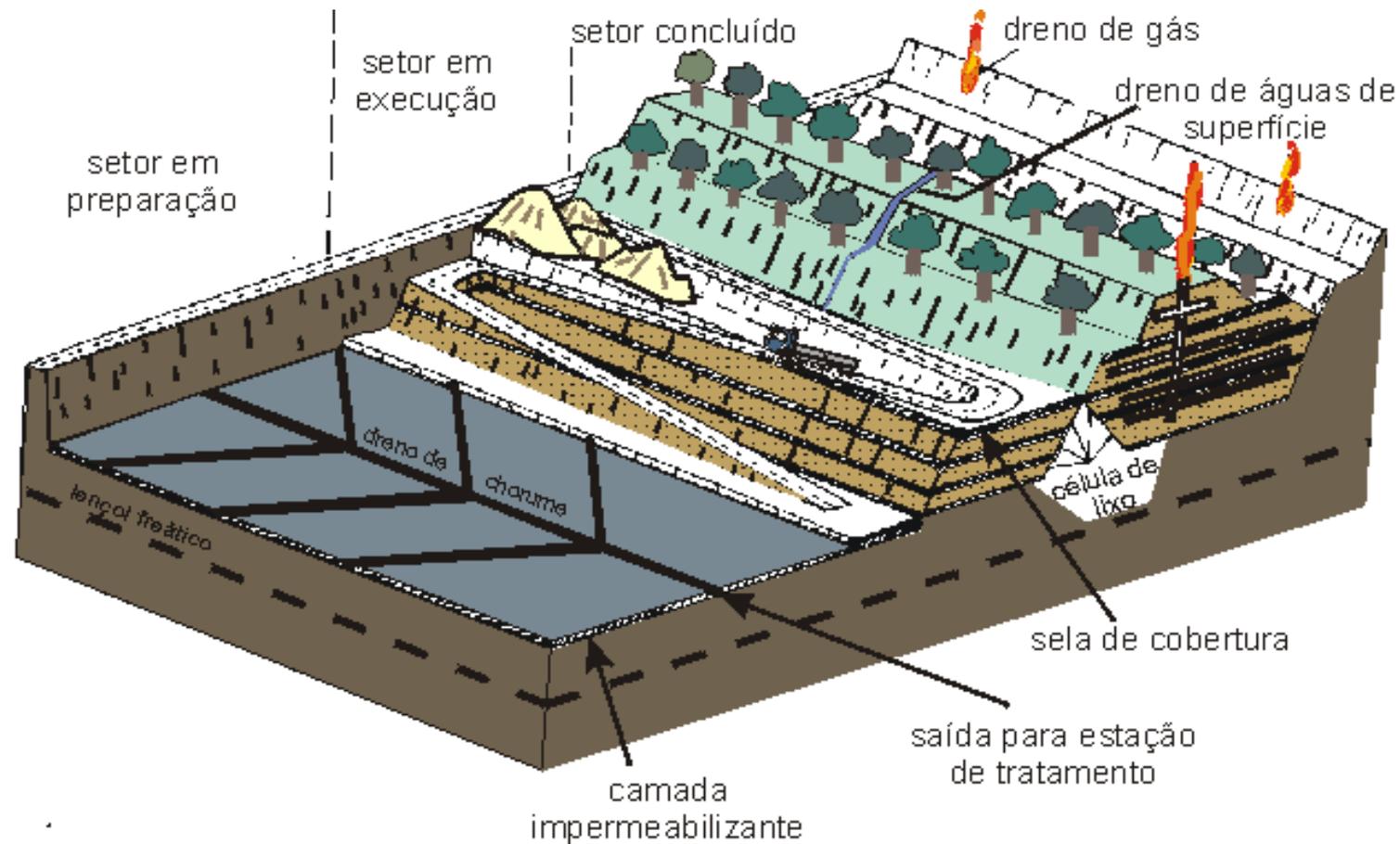
- PERDA DE VALOR DE PROPRIEDADES;

- INVALIDEZ FÍSICA E TRAUMA PSICOLÓGICO DAS VÍTIMAS;

2010 – RIO DE JANEIRO: ILHA GRANDE



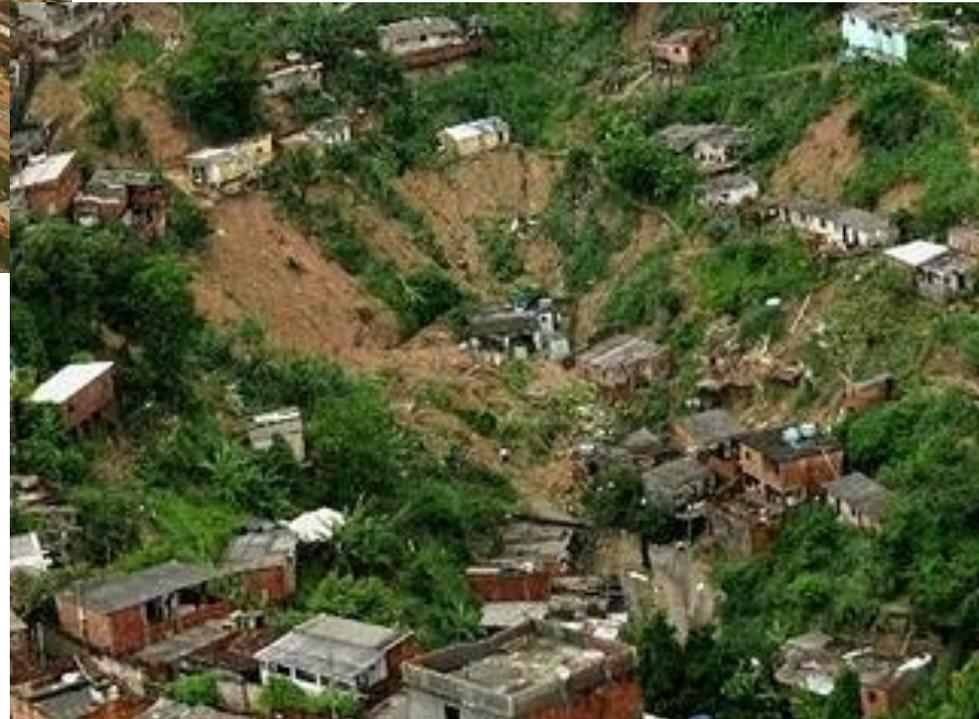
2010 – RIO DE JANEIRO: MORRO DO BUMBA



2010 – RIO DE JANEIRO: MORRO DO BUMBA



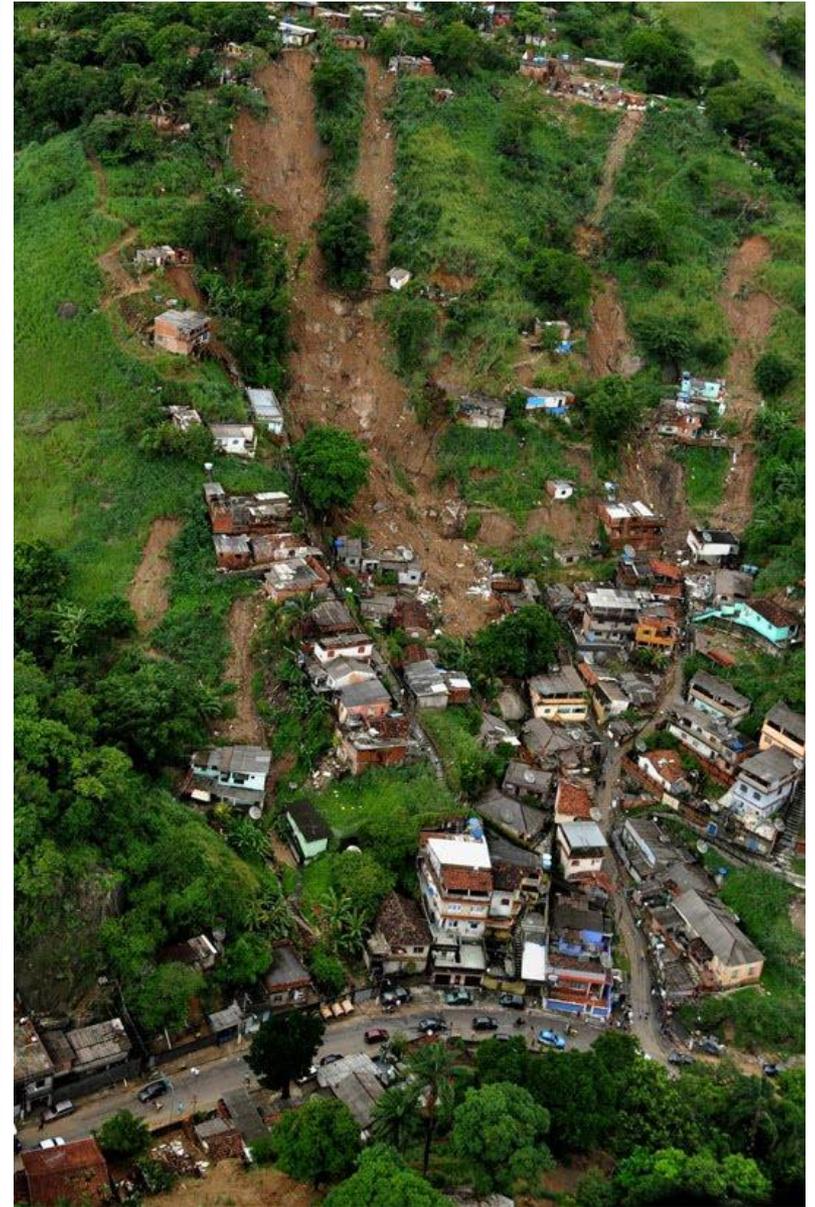
2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA
(PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA
(PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



SIGNIFICADO SÓCIO-ECONÔMICO:

CUSTOS INDIRETOS (IRREVERSÍVEIS):

MORTE DAS VÍTIMAS

2011 – RIO DE JANEIRO: REGIÃO SERRANA (PETRÓPOLIS, ITAIPAVA, TERESÓPOLIS)



2022 – TRAJÉDIA DE PETRÓPOLIS SE REPETE

Mais de 200 mortos.

Chuvas muito intensas (60mm/h durante 3 a 4h) que levou a um conjunto de deslizamentos, principalmente nos bairros mais pobres das cidades. Esta intensidade de chuvas sempre resulta em catástrofes.

Deslizamento principalmente em encostas com ocupações ilegais, em sua maioria construídas de forma precária. Casas construídas sem projetos, caracterizando uma ocupação caótica de uma encosta que já existiam galerias de água para o abastecimento da cidade. Se observava nas imagens grande quantidade de água escoando pela encosta rompida.

Deslizamentos rasos, cobertura da rocha (granito e gnaiss), composta por saprolito e solo saprolítico que se deslocou e levou solo e blocos de rochas como matacões, deixando nua a encosta. Típico da região serrana do RJ.

Não houve preparação da cidade de Petrópolis para mais um episódio de chuvas intensas, que ocorrem periodicamente na região.

Fonte: <https://youtu.be/io7F1L0HquA> (entrevista Prof. Willy Lacerda)

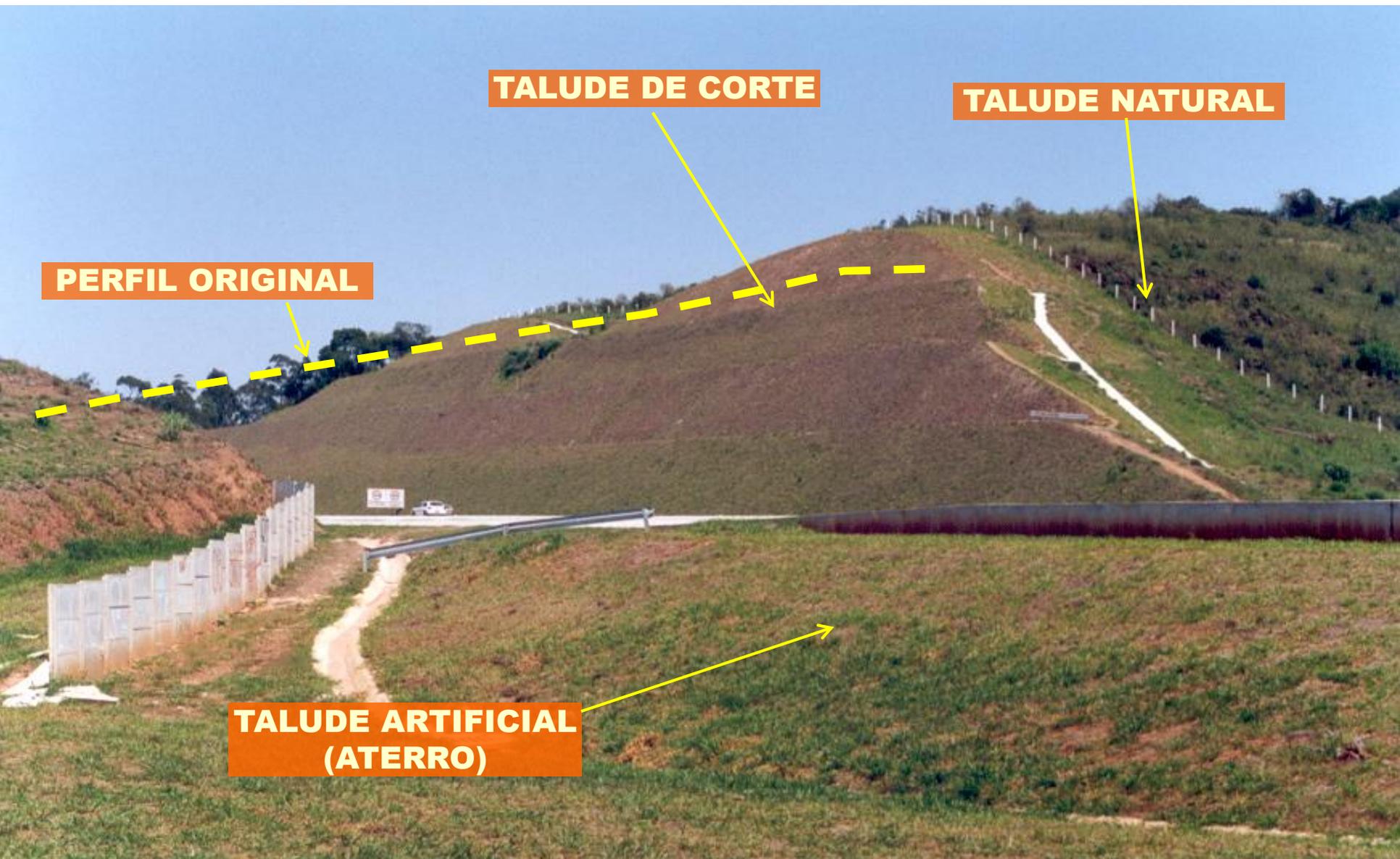
Vídeo didático da UFRJ sobre taludes no RJ: <https://youtu.be/K9i3JyXocgI>

DEFINIÇÃO DE TALUDES E ENCOSTAS

Introdução

- **Terzaghi (1950) salienta que o conhecimento geológico é essencial para a formação de um conceito claro sobre os processos que podem levar ao colapso de um talude.**
- **Encosta é toda superfície natural inclinada que une duas ou mais superfícies caracterizadas por diferentes energias potenciais.**
- **Taludes Naturais são superfícies não horizontais de maciços terrosos, rochosos ou mistos, originados por agentes naturais, mesmo que tenham sofrido desmatamentos, cortes ou introdução de cargas.**
- **Taludes Artificiais são declives de aterros construídos a partir de vários materiais.**

Taludes e Encostas



Definição de Talude

- Sob o nome genérico de **taludes** compreende-se quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha. Podem ser naturais, caso das encostas, ou artificiais, como taludes de cortes e aterros (CAPUTO, 1987)

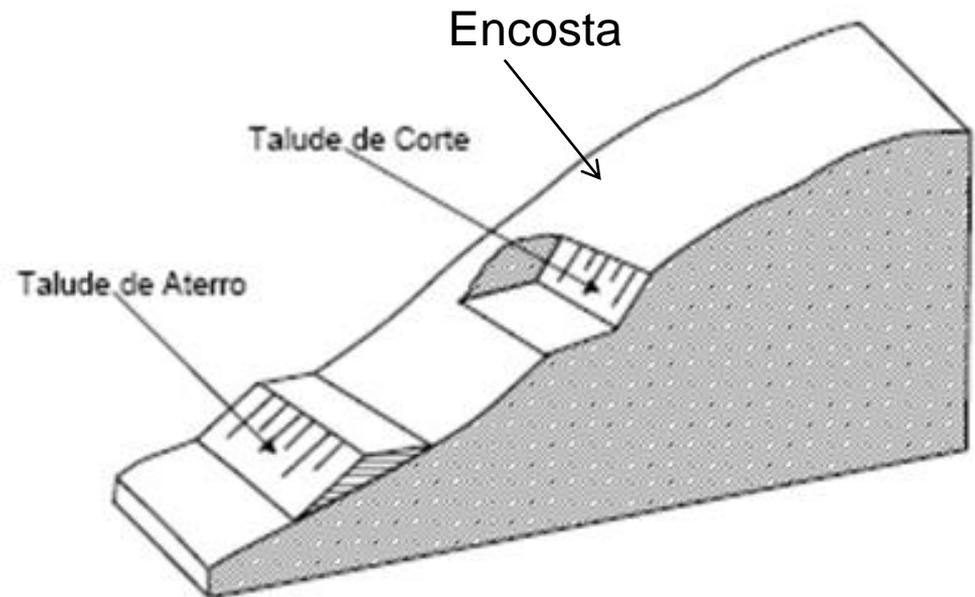


Definição de Talude

- ❑ A [NBR 11.682:2009](#) – Estabilidade de Taludes – define talude como terreno inclinado e encosta como terreno natural

- ❑ Taludes construídos:
 - Cortes de encostas;
 - Escavações
 - Aterros.

- ❑ Taludes Naturais:
 - Constituídos por solo residual e/ou coluvionar, além de rocha;
 - Apresentam formas variadas;
 - A sua instabilidade é consequência do avanço de processos de intemperismo.

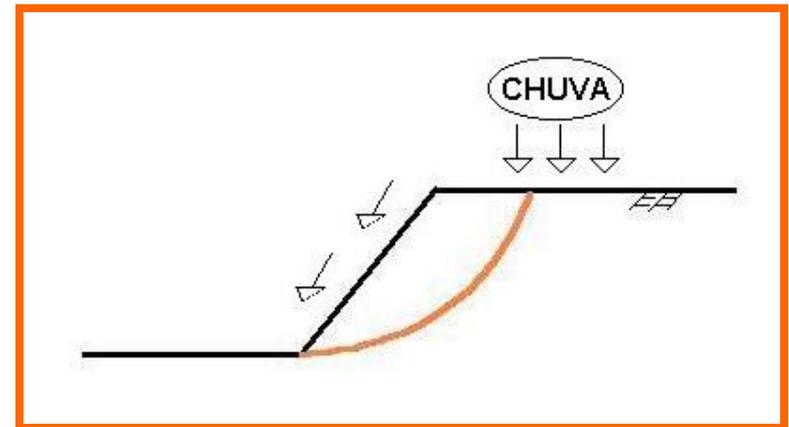


OCORRÊNCIAS E IMPORTÂNCIA

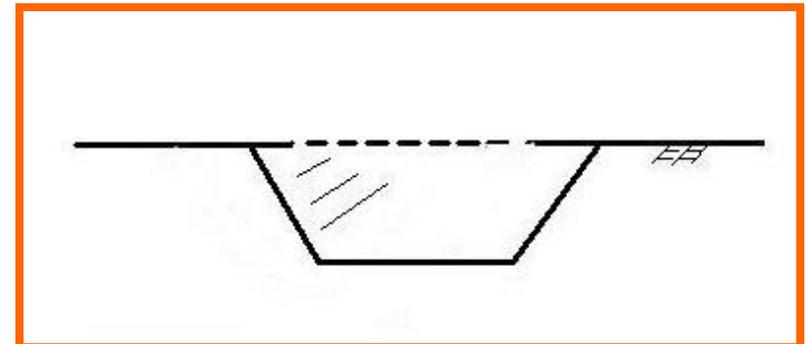
Ocorrências e Importância

a) Talude natural / cortes
(estradas, ocupação de morros urbanos):

- Deslizamento de terra;
- Erosão.



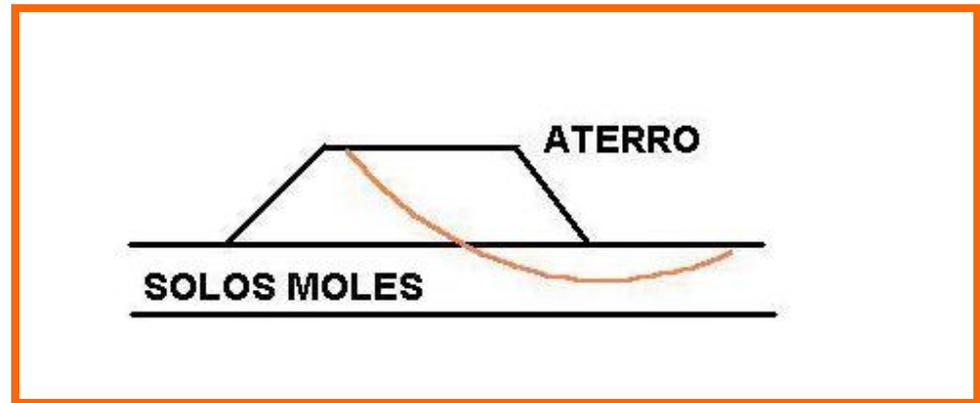
b) Escavação:
(canais, fundações)



Ocorrências e Importância

c) Aterro sobre solos moles:

(estradas, rodovias,
urbanização de áreas)



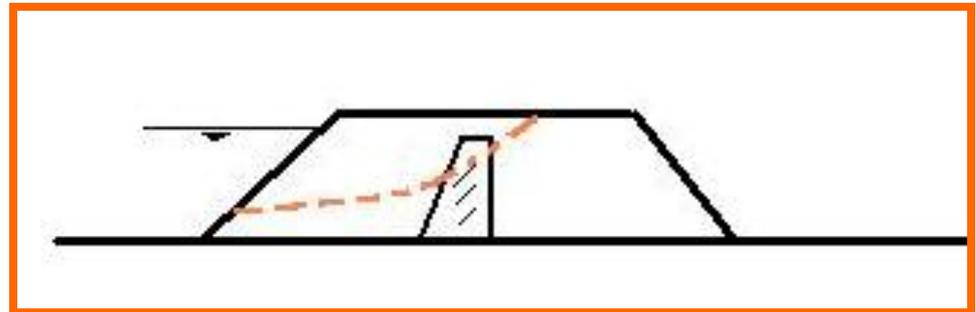
d) Barragens:

d.1 Durante a
construção

d.2 Reservatório cheio

d.3 Rebaixamento

rápido do reservatório



Ocorrências e Importância

TIPOS DE MATERIAIS CONSIDERADOS NA CARACTERIZAÇÃO

CRUDEN & VARNES (1996) consideram em sua classificação os seguintes tipos de materiais:

- **ROCK (rocha):** massa dura ou firme que apresenta-se intacta antes de iniciar o movimento;
- **SOIL (solo):** agregado de partículas sólidas (minerais e rochas), que foram transportadas ou sofreram processos de intemperismo. Representam materiais que possuem 80% ou mais de partículas < 2mm.
- **DEBRIS (detritos):** contem significativa proporção de material “grosso”, com 20 a 80% de partículas > 2mm.

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO SOLO

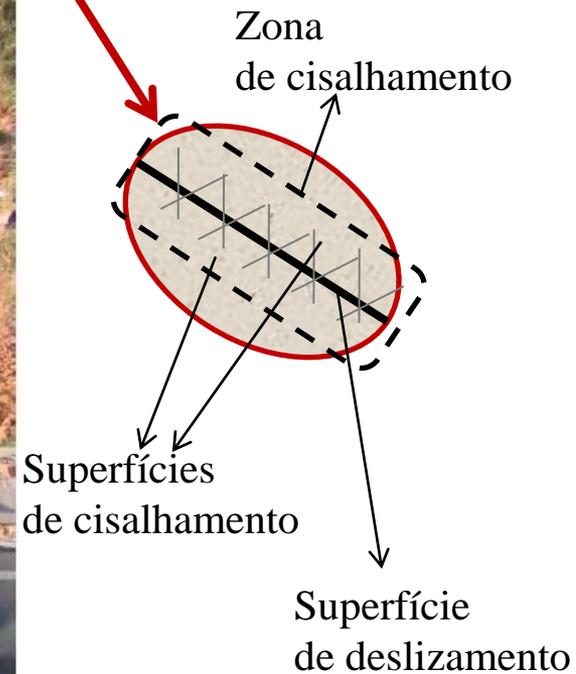
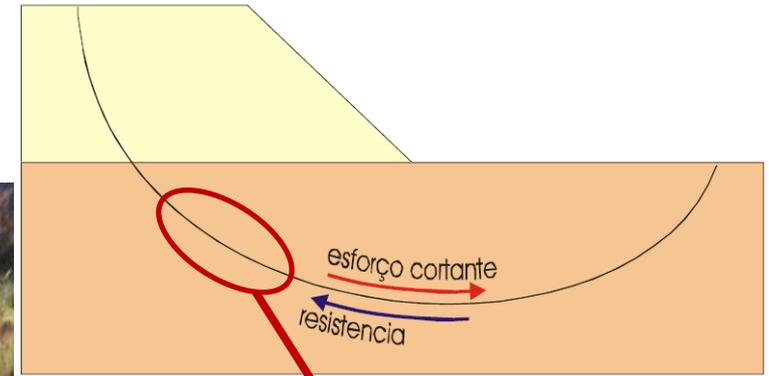
Resistência ao Cisalhamento do Solo

- Máxima tensão de cisalhamento que o solo suporta sem sofrer ruptura;
- É a tensão de cisalhamento na superfície em que a ruptura estiver ocorrendo.

Exemplos:

Resistência ao Cisalhamento do Solo

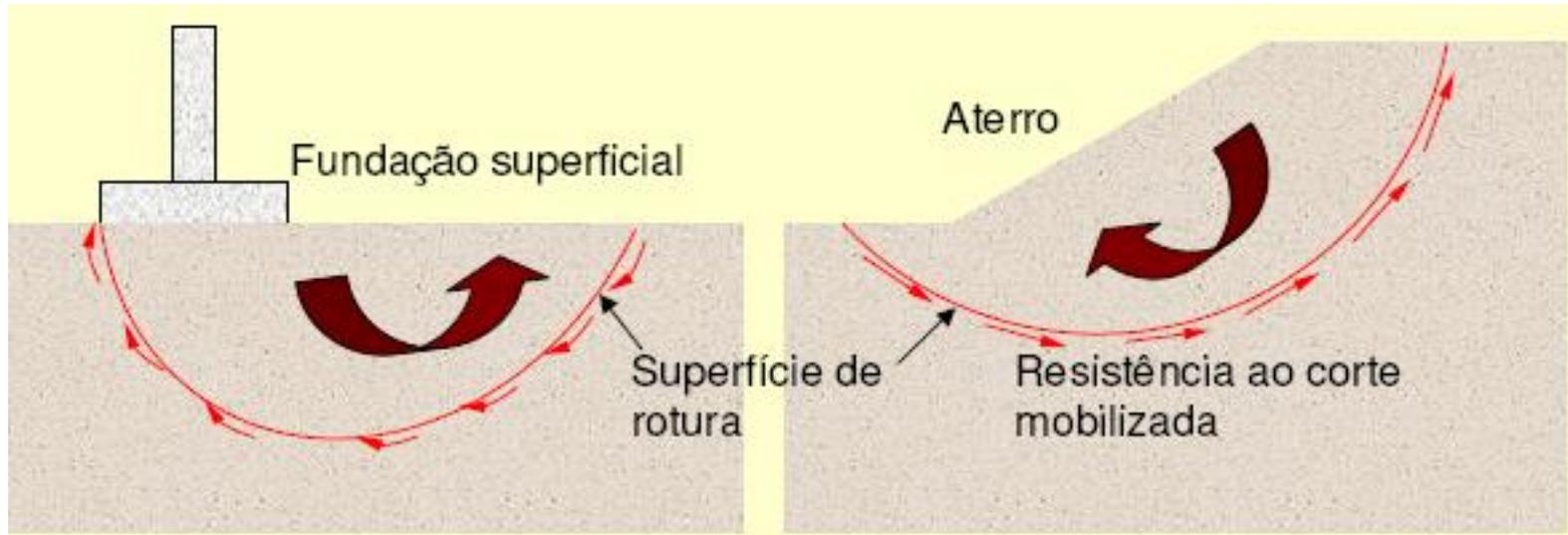
Estabilidade de Taludes



SALVADOR/BA, AGOSTO DE 2005

Resistência ao Cisalhamento do Solo

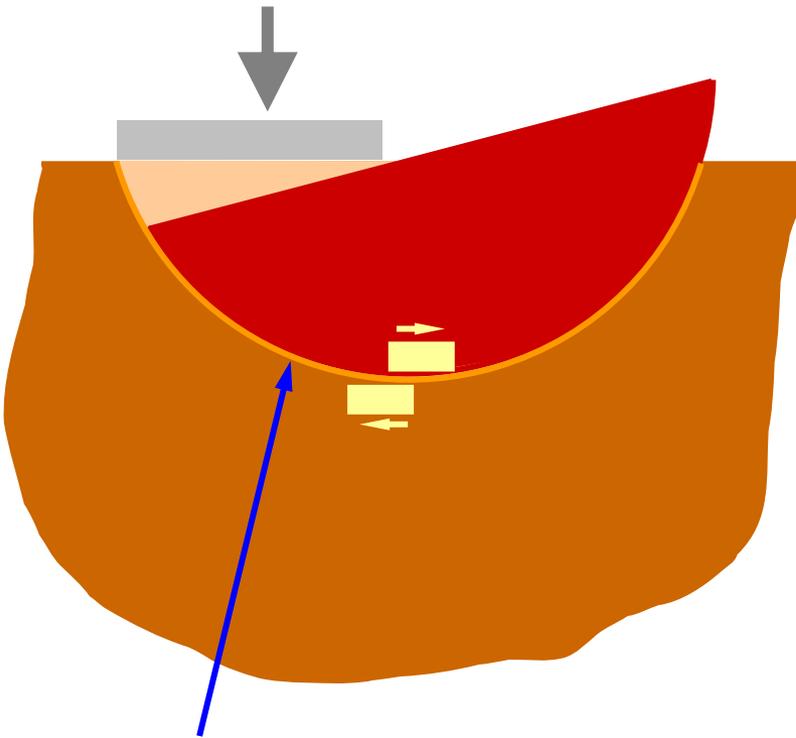
Fundação Superficial e Aterros



A ruptura é caracterizada quando a tensão cisalhante ao longo da superfície de ruptura atinge a resistência ao corte do solo.

Resistência ao Cisalhamento do Solo

Fundação Superficial e Aterros

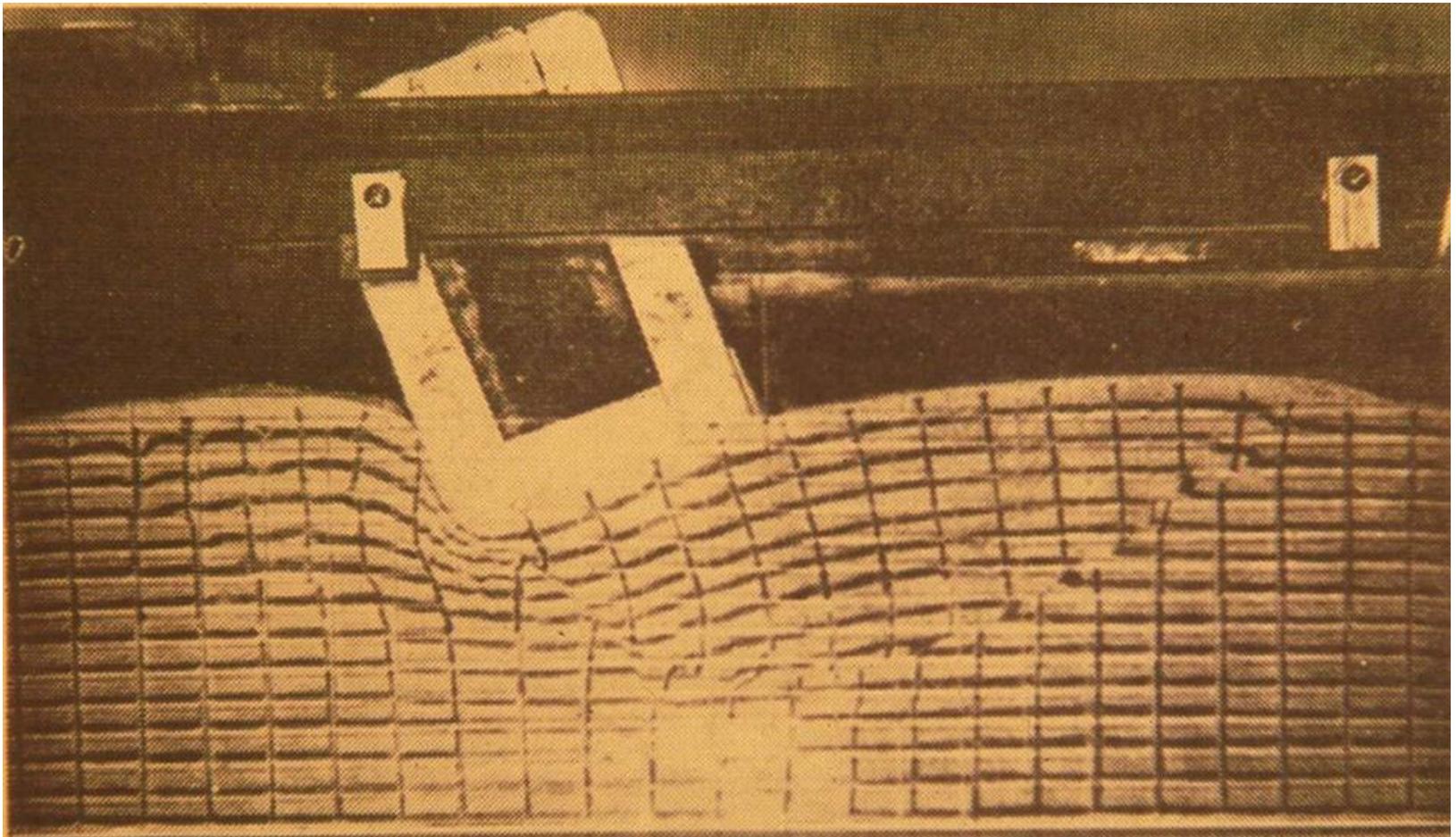


Deformações concentradas na superfície



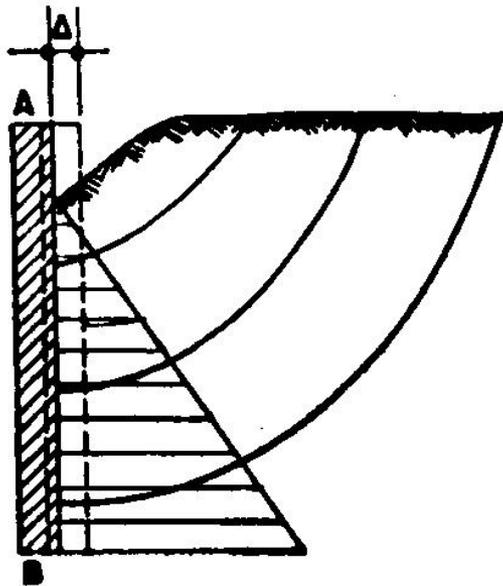
Resistência ao Cisalhamento do Solo

The picture below shows a shear failure in sand contained in a glass-sided tank, caused by pushing a model foundation into the sand. The slip surface can be clearly seen. This is known as a bearing capacity failure.

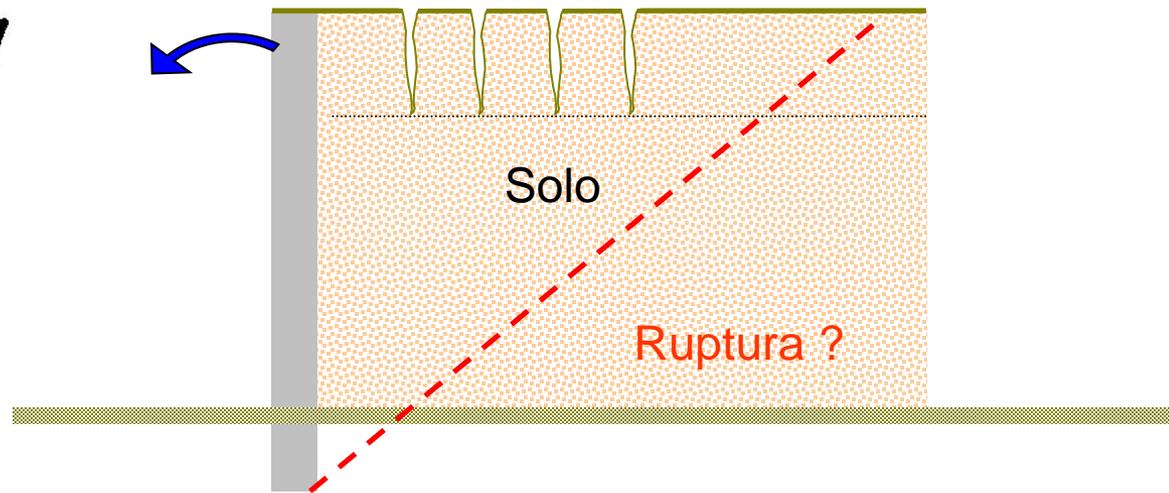


Resistência ao Cisalhamento do Solo

Empuxos de Terra



Empuxo Ativo



Resistência ao Cisalhamento do Solo

Ruptura:

-formação de zona cisalhada;



-Solo perde propriedades resistentes;



-formação de superfície contínua;

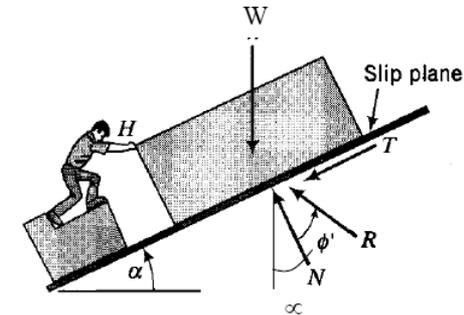
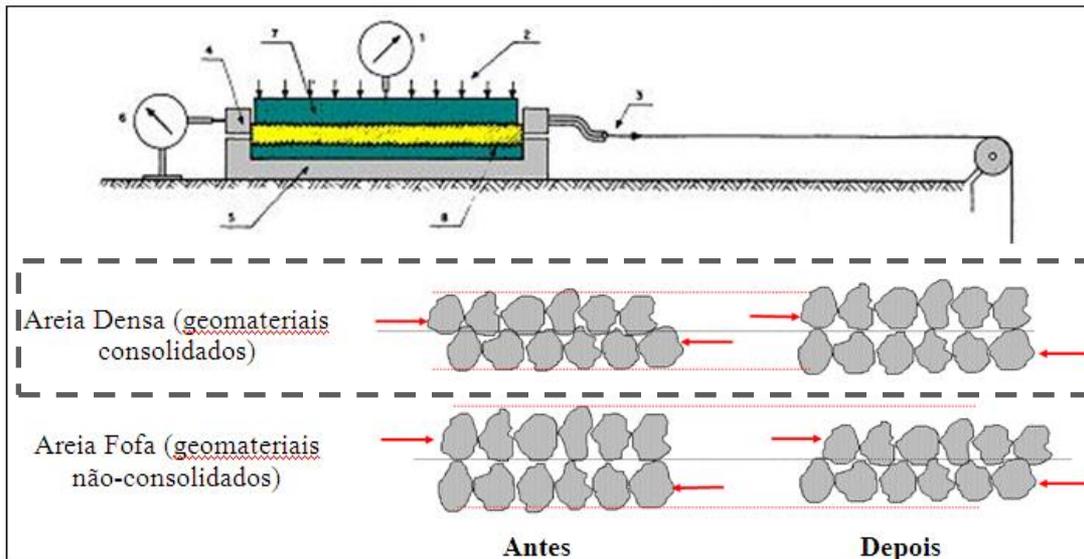
MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

Resistência = f (embricamento, resistência entre partículas)



f (coesão, ângulo de atrito)

Trabalho necessário para movimentar partícula ascendentemente;



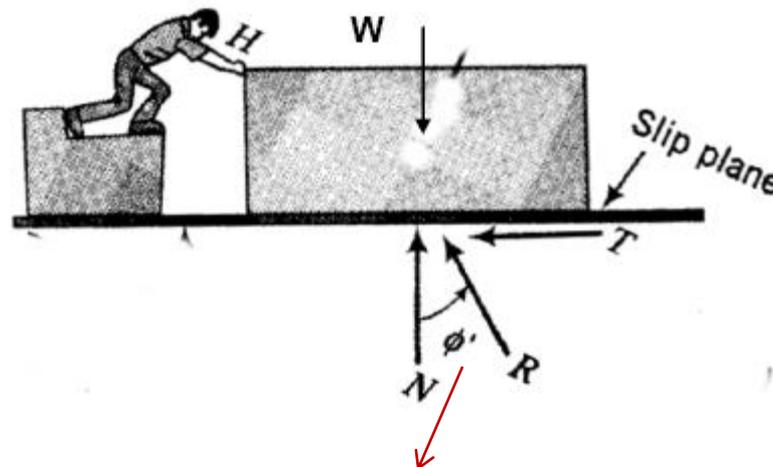
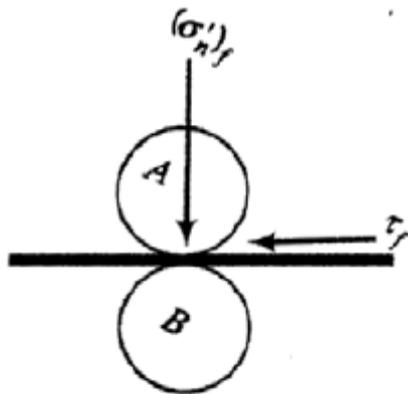
Trabalho adicional para superar
embricamento entre partículas:
Expansão volumétrica durante
cisalhamento (**dilatância**).

$$\tau_f = \sigma \times \tan(\phi' + \alpha)$$

MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

Atrito

- Surge quando há tendência de movimento entre dois corpos;
- É uma Força resistente que se opõe à força de deslocamento;
- Determinação por analogia à Lei de Coulomb (deslizamento de corpo rígido sobre superfície plana):



$$\tau = \tau_f = \frac{T_{\max}}{A}$$

$$T_{\max} = W\mu = W \times \tan \phi'$$

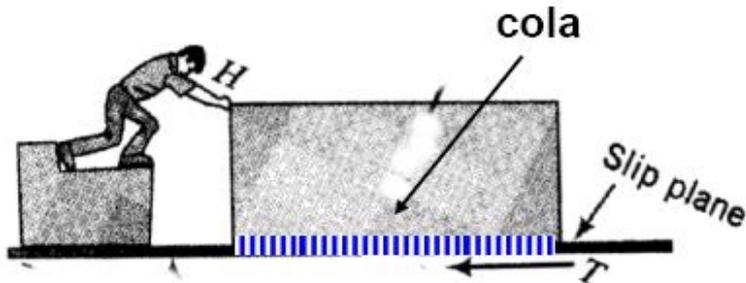
$$\tau_f = \sigma \times \tan \phi'$$

Ângulo de atrito = f(tipo de solo, compacidade, etc)

MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

Coesão

- Solos mais finos: argilas e siltes plásticos;
- Atração entre os grãos pelos meniscos de água de contato;
- Maior esforço na mobilização dos grãos;



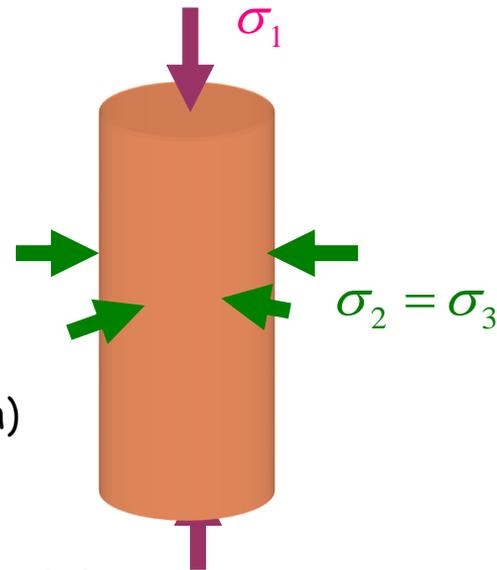
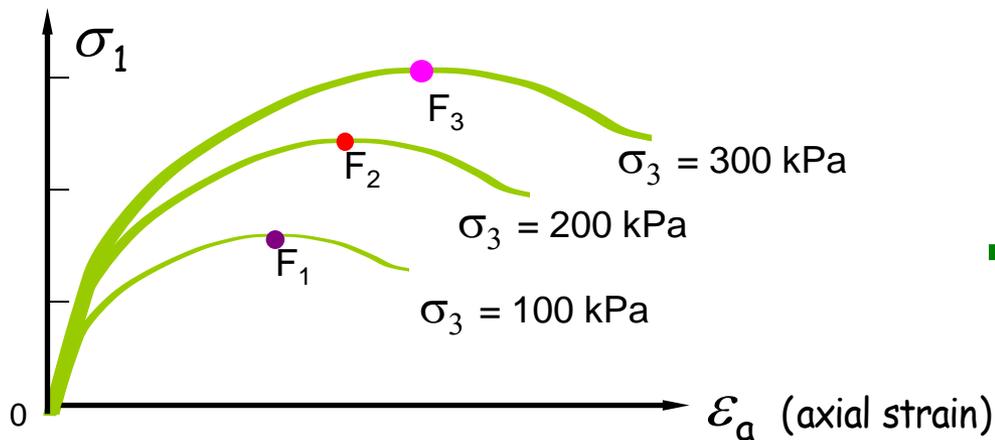
$$\tau = c$$

Resistência ao cisalhamento por atrito e coesão

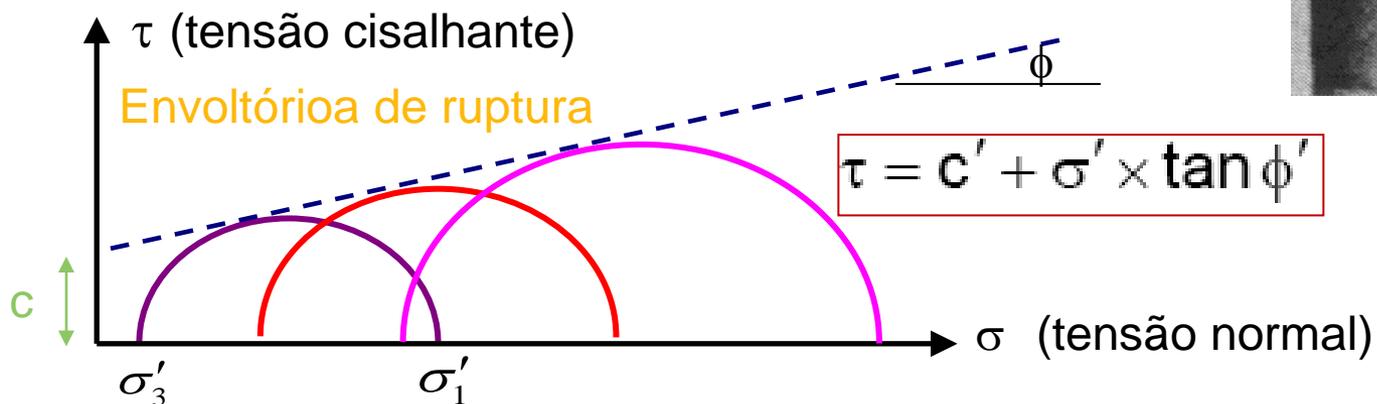
$$\tau = c' + \sigma' \times \tan \phi'$$

MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

Resistência ao cisalhamento por atrito e coesão

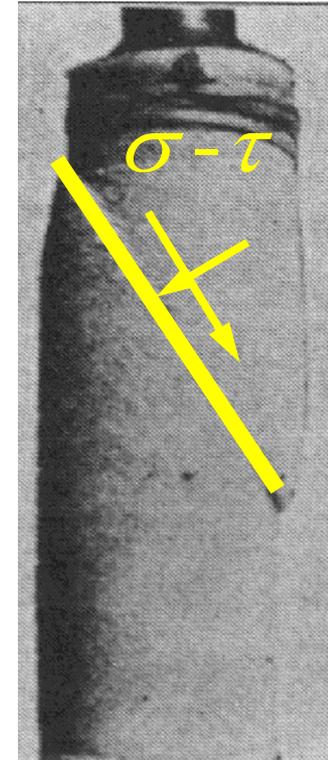
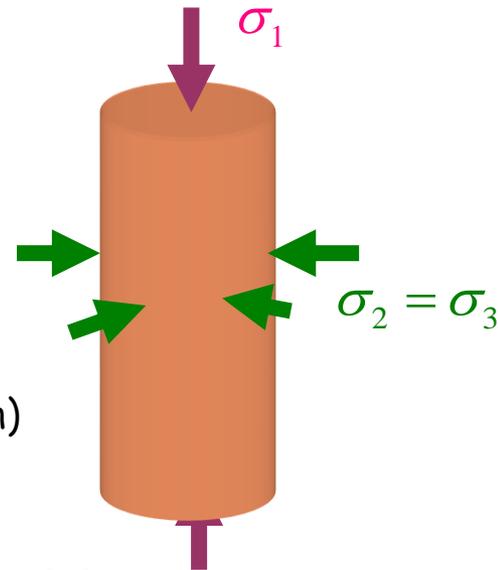
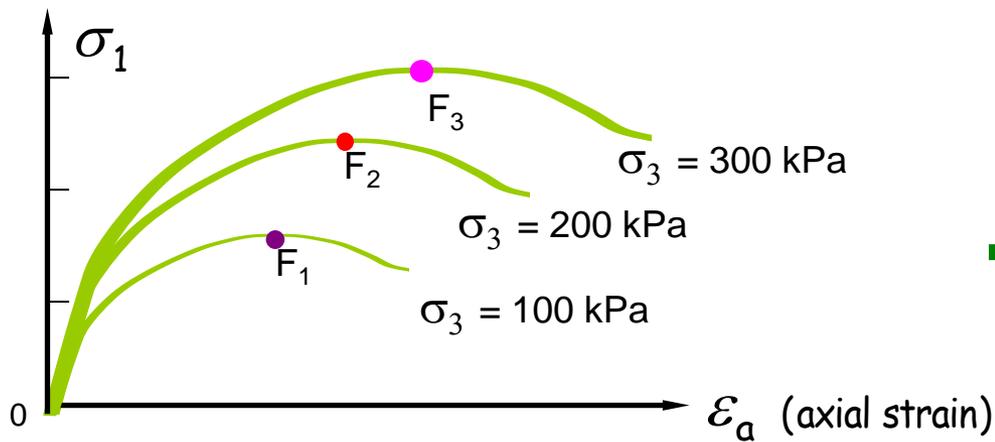


Critério de **Mohr-Coulomb** a partir de 3 ensaios triaxiais:

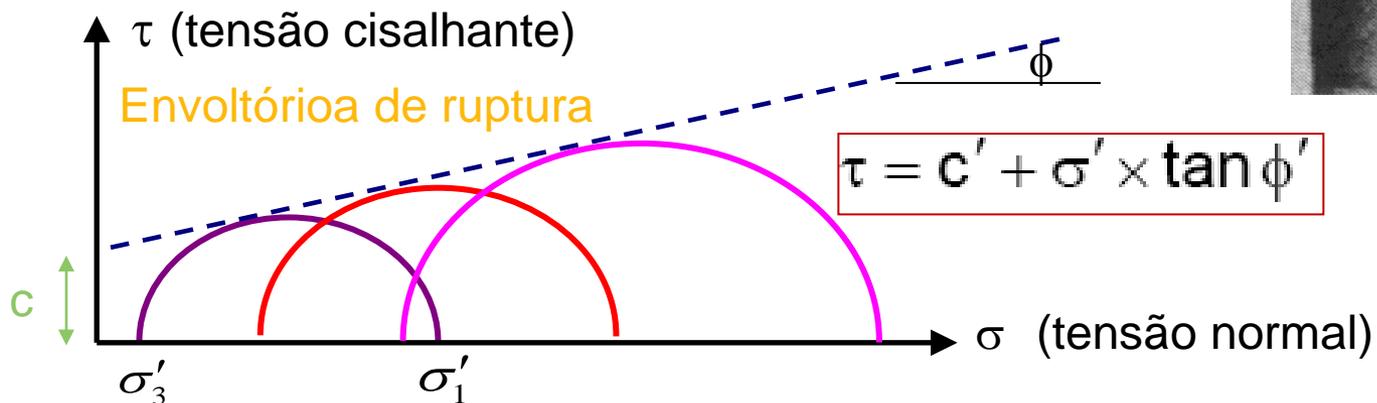


MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

Resistência ao cisalhamento por atrito e coesão

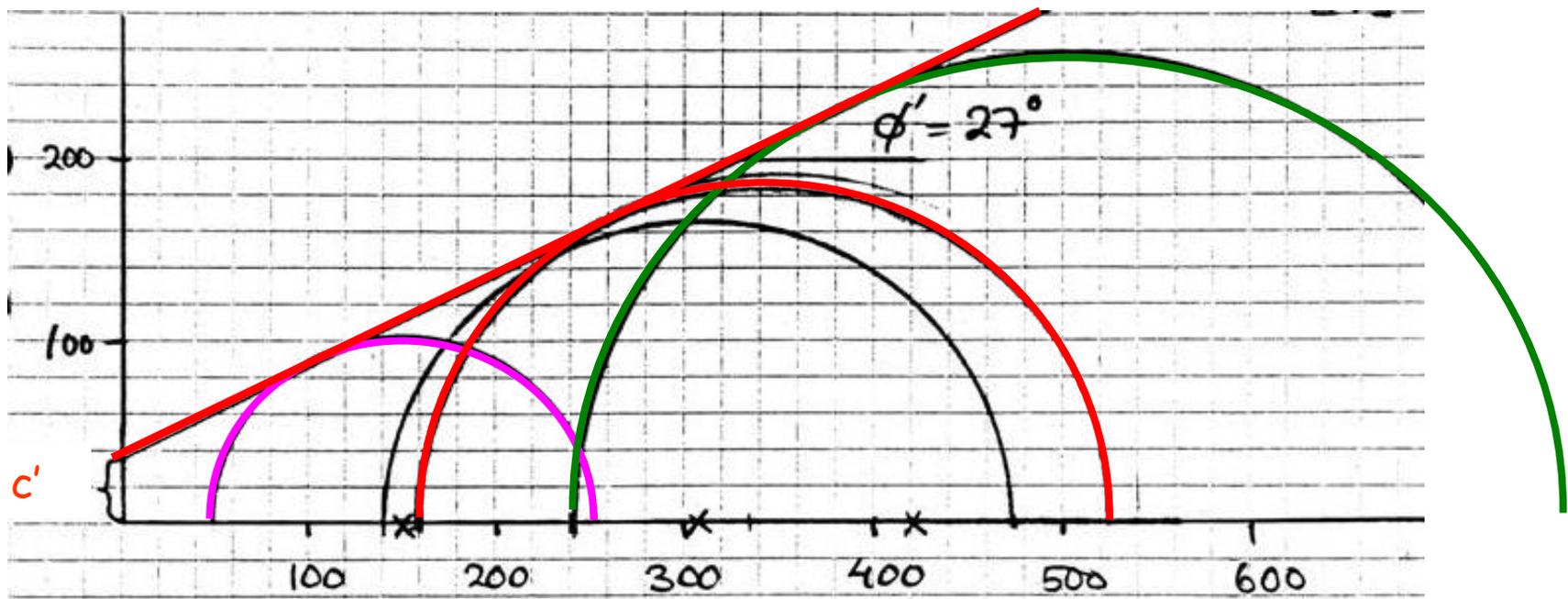


Critério de **Mohr-Coulomb** a partir de 3 ensaios triaxiais:



MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

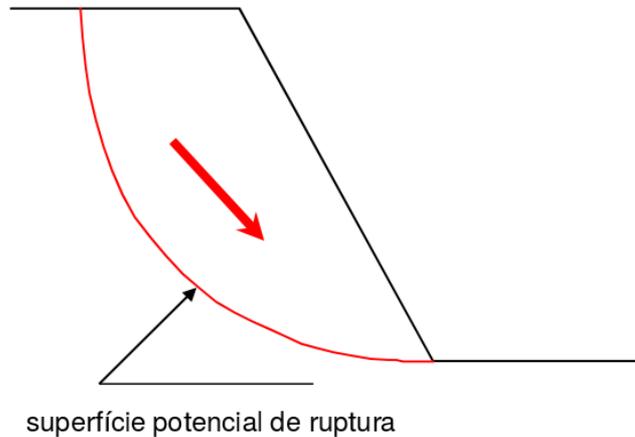
Test	σ'_3 (kPa)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)$ (kPa)	σ'_1 (kPa)	$1/2(\sigma'_1 - \sigma'_3)$ (kPa)	$1/2(\sigma'_1 + \sigma'_3)$ (kPa)
1	50	200	250	100	150
2	140	335	475	168	308
3	300	520	760	260	500



MOVIMENTO DE MASSA - CLASSIFICAÇÃO

Movimento de Massa

Sob condições específicas, uma porção do material de um talude pode deslocar-se em relação ao maciço restante, desencadeando um processo genericamente denominado de **movimento de massa**., ao longo de uma dada superfície chamada **superfície de ruptura**.



- ❑ Classificação apresentada por Magalhães Freire em 1965 (CAPUTO, 1987):
 - Escoamento;
 - Escorregamento;
 - Subsidência.

Movimento de Massa

☐ Escoamento:

- Deformação ou movimento contínuo, com ou sem superfície definida de movimentação;
- Podem ser chamados de:
 - **Corridos** para o escoamento como um fluido viscoso;
 - Rastejos para os escoamentos plásticos.



Vídeos: Corridas com diferentes velocidades (o primeiro houve preparação, era esperado...)



Ilha Grande, RJ



Aqui: ação do homem!

CORRIDAS



EXEMPLOS DE PROCESSOS - PE



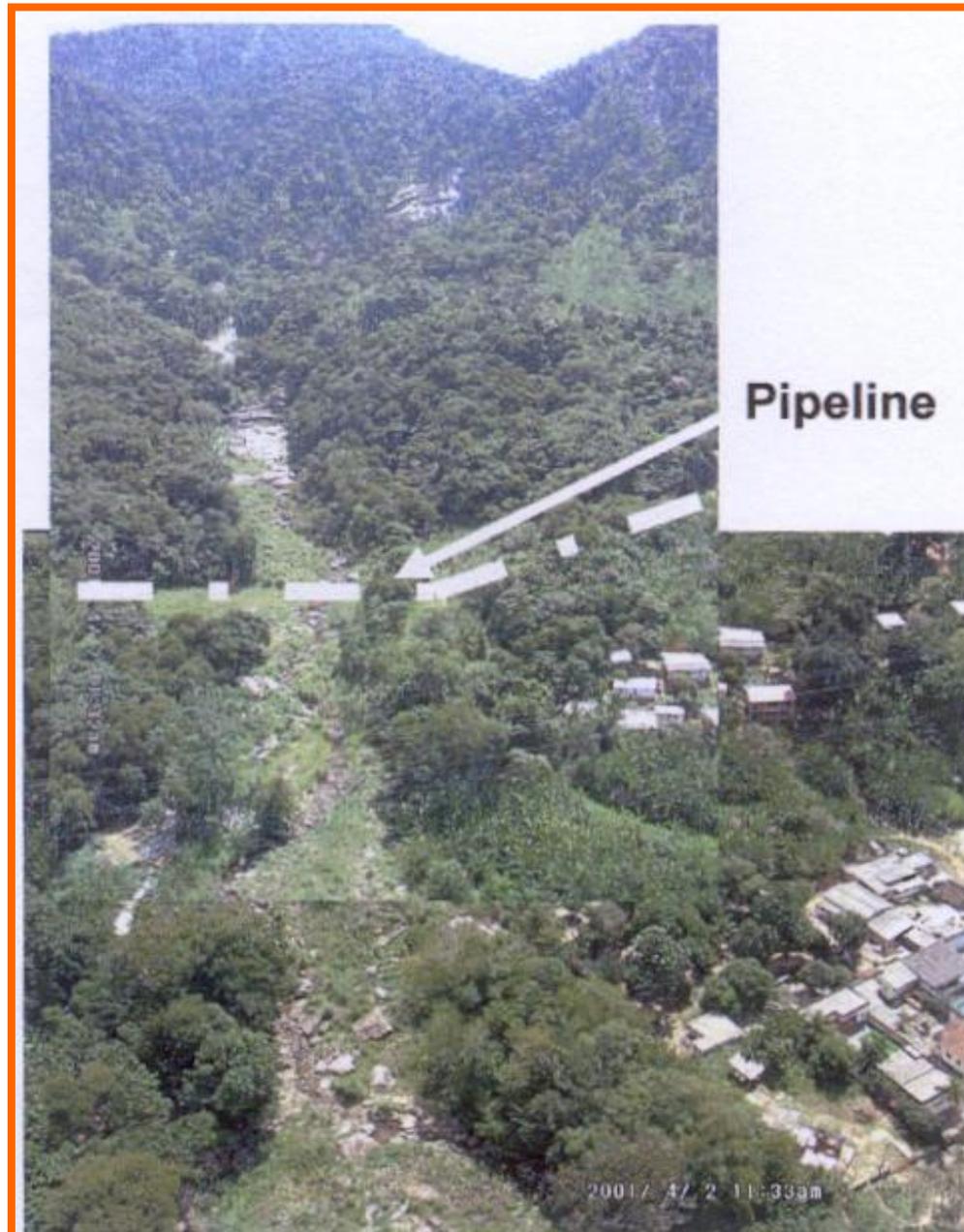
EXEMPLOS DE PROCESSOS - RJ



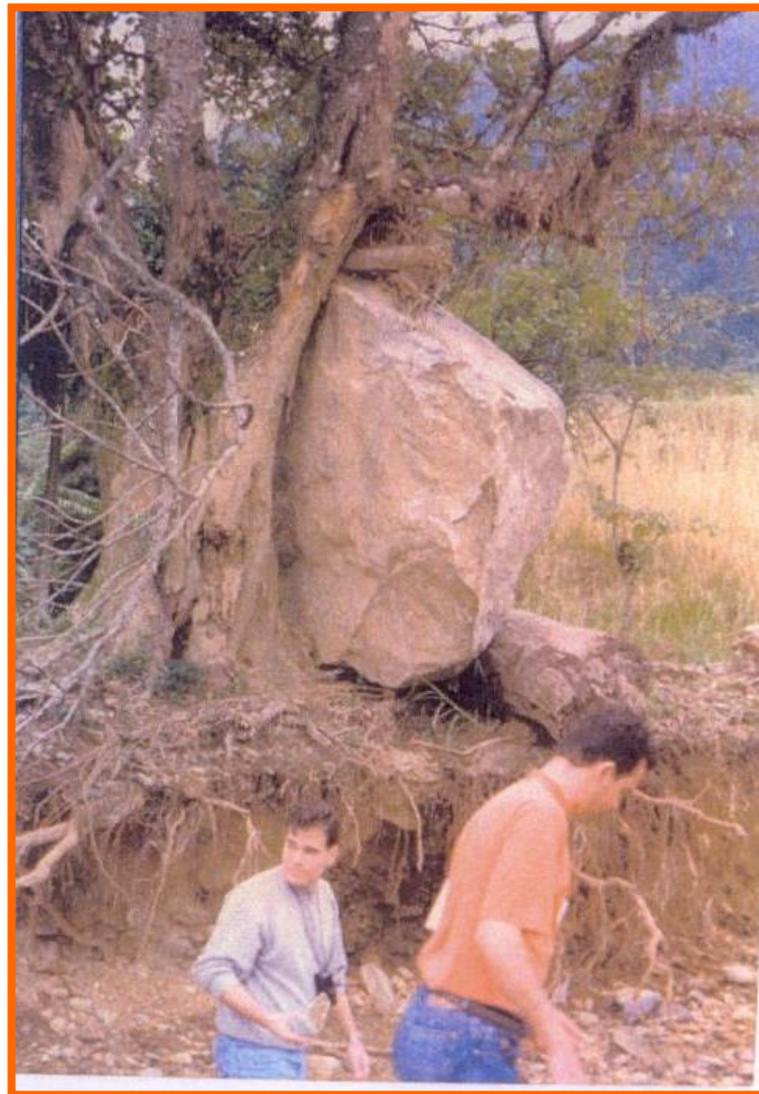
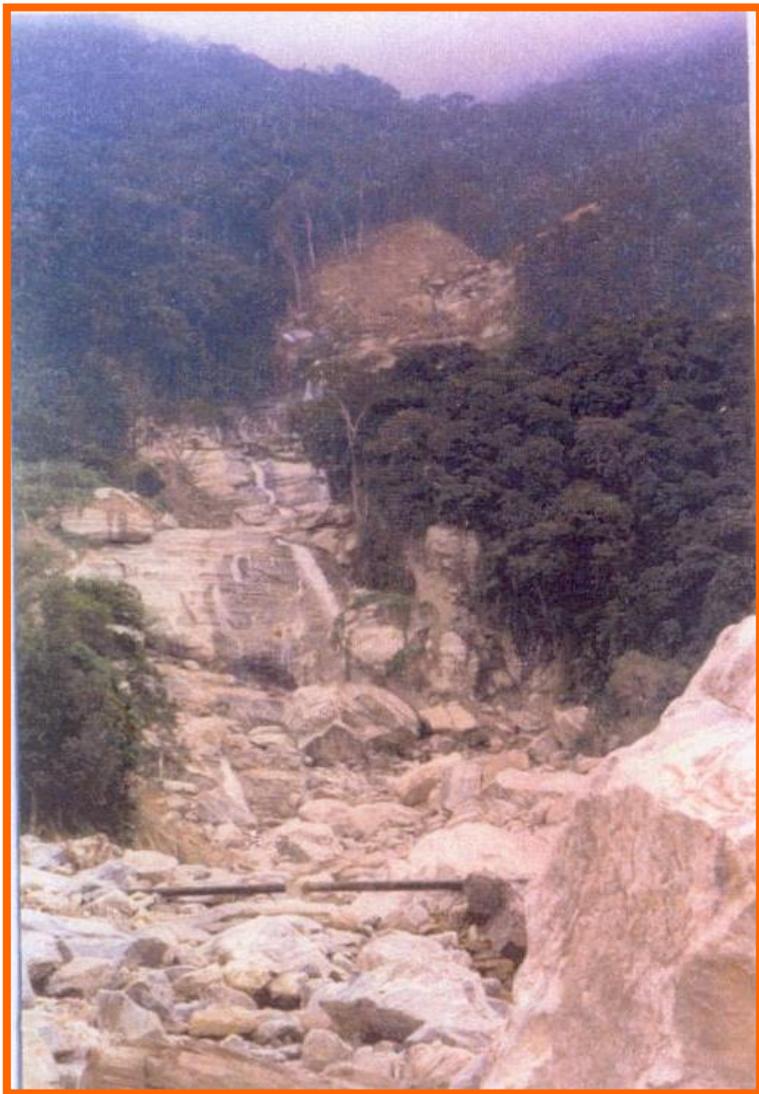
a) 1996 (data do evento)

**Corrida de “detritos” (Debris Flow) –
BR-101 – RJ**

b) Foto em 2001



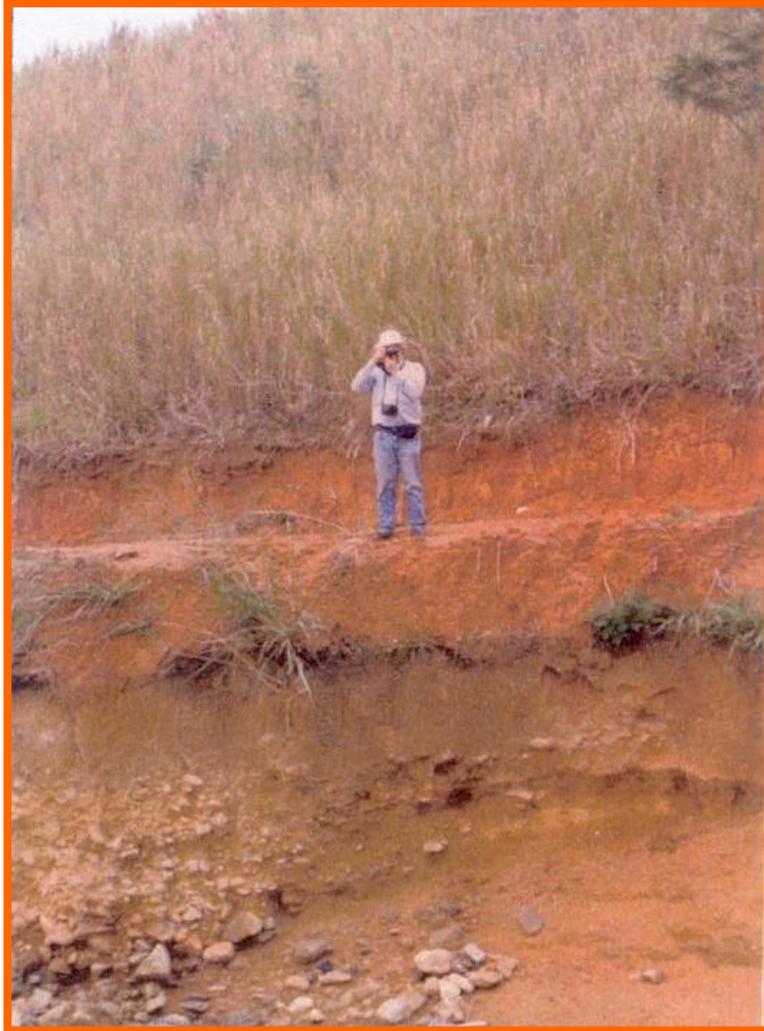
EXEMPLOS DE PROCESSOS - RJ



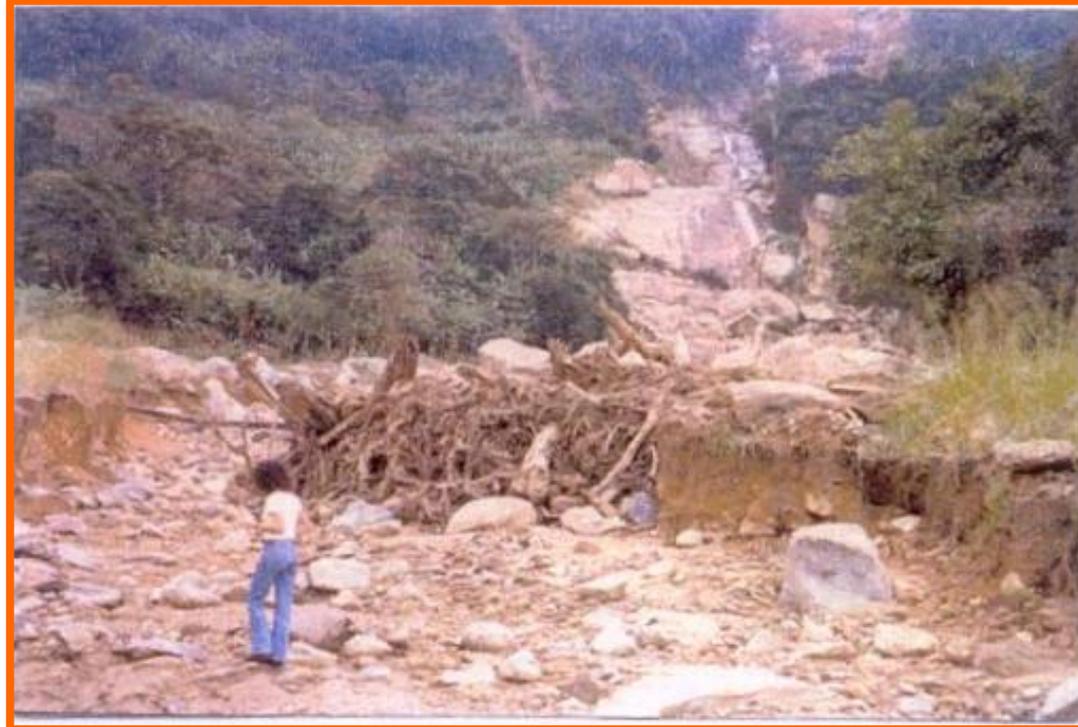
Corrida de “detritos” (Debris Flow) – BR-101 – RJ



EXEMPLOS DE PROCESSOS - RJ



a) Antigos “debris flow”



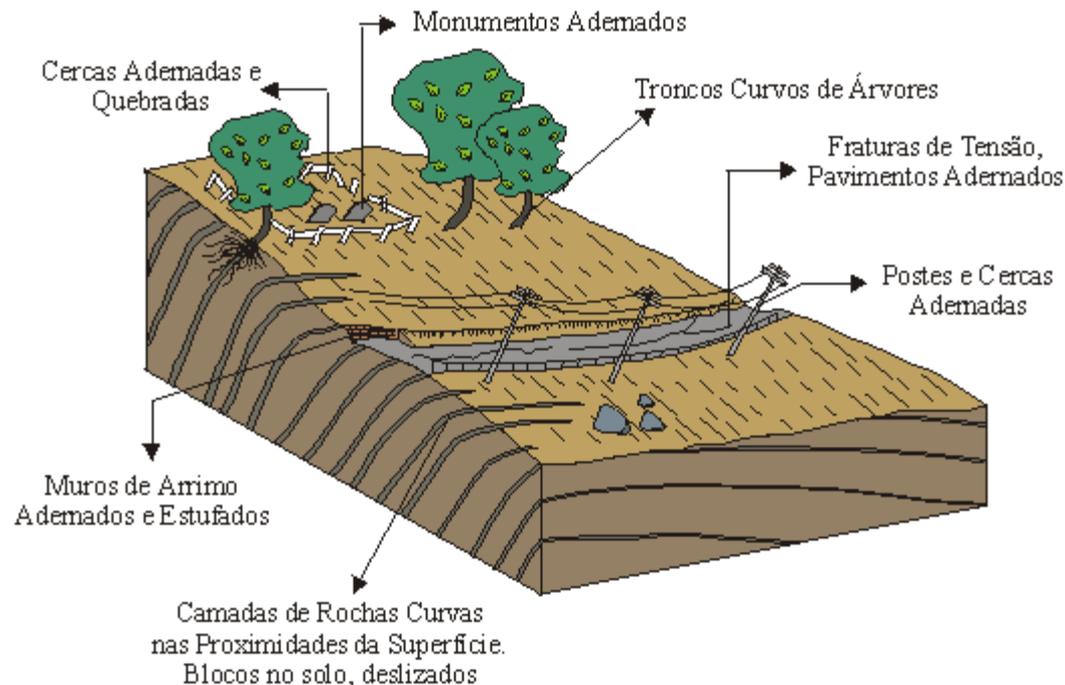
b) Árvores e rochas depositadas na parte baixa da encosta.

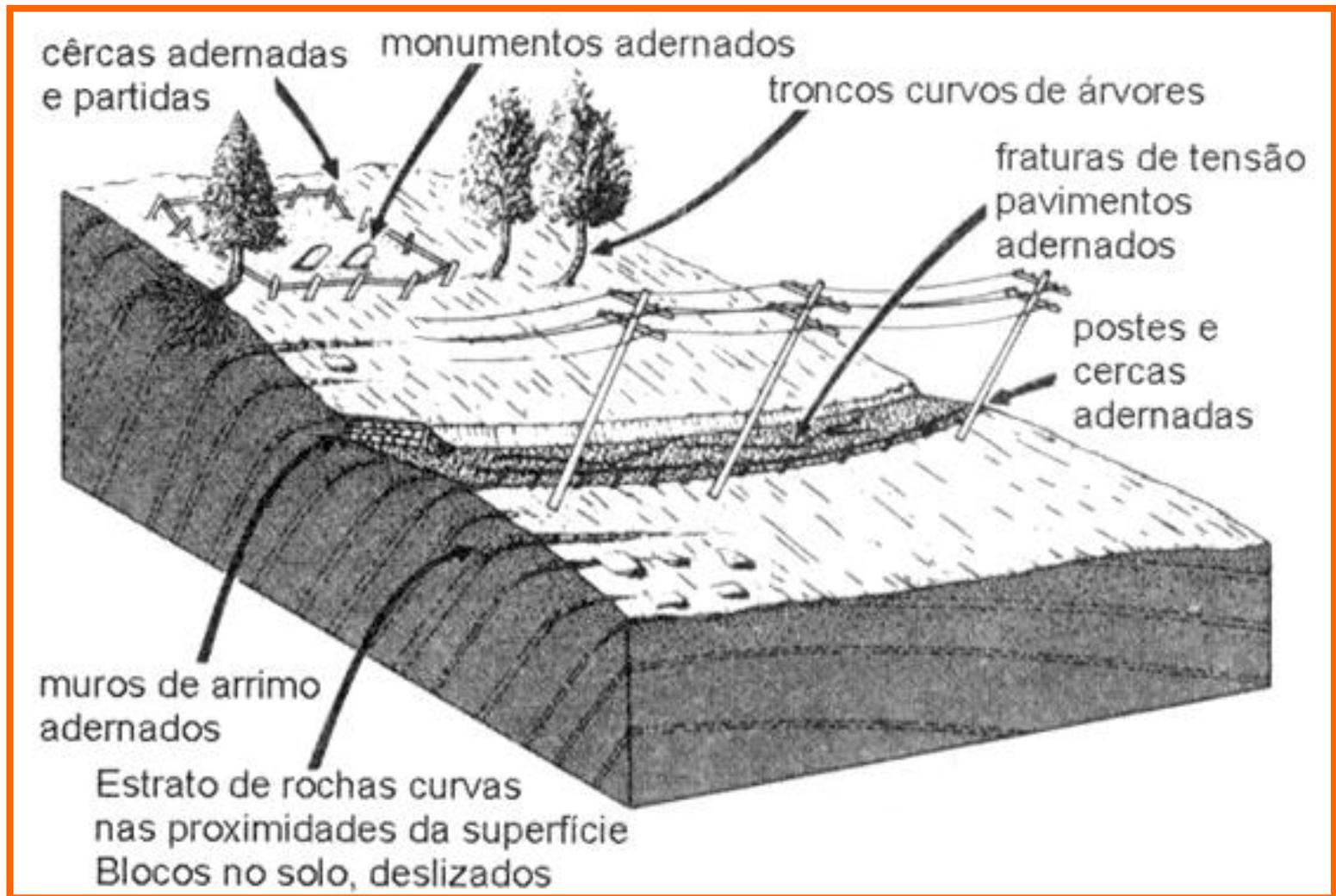
Corrida de “detritos” (Debris Flow) – BR-101 – RJ.

Movimento de Massa

□ Escoamento:

- Deformação ou movimento contínuo, com ou sem superfície definida de movimentação;
- Podem ser chamados de:
 - Corridos para o escoamento como um fluido viscoso;
 - **Rastejos** para os escoamentos plásticos.





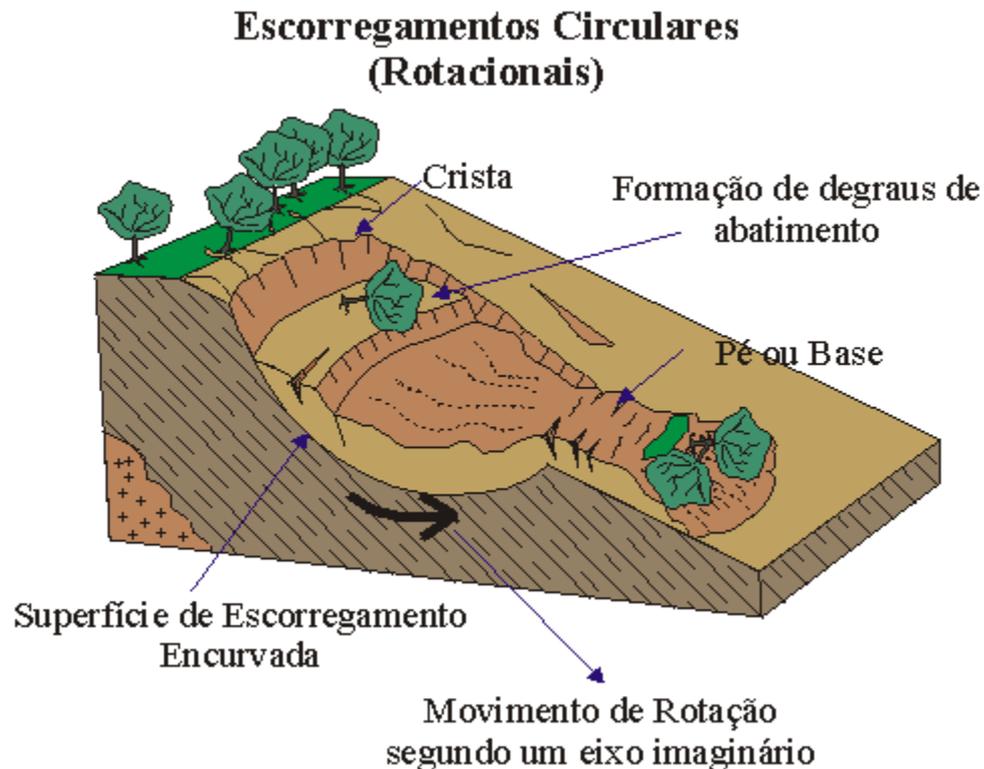
Rastejo e seus indícios (BLOOM, 1988).



Movimento de Massa

❑ Escorregamento:

- É o deslocamento finito ao longo de uma superfície definida de deslizamento, preexistente ou de neoformação;
- Podem ser:
 - **Rotacionais** (superfície circular);
 - Translacionais (superfície plana).



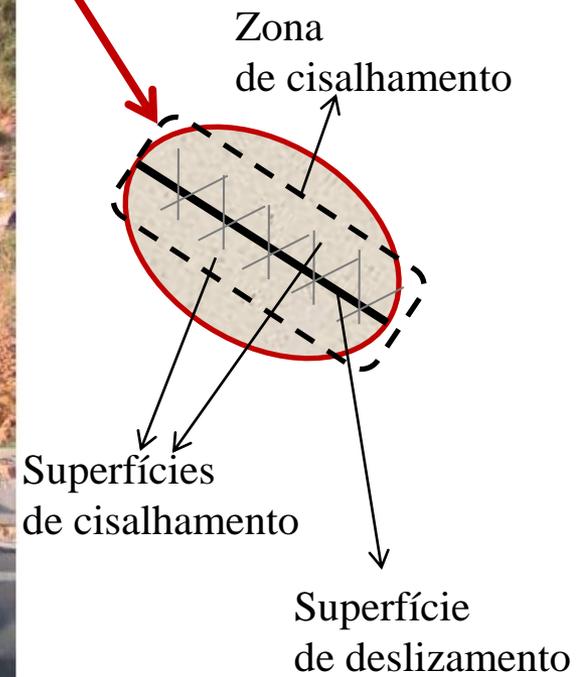
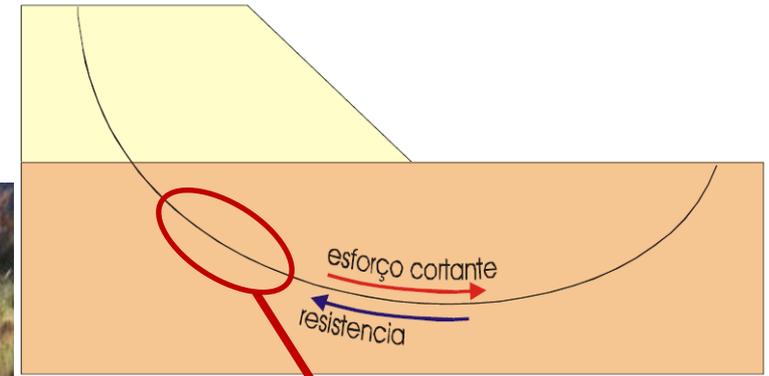
EXEMPLOS DE PROCESSOS - RJ



**Deslizamento em Solo Residual
/ Saprolito (BR 101- Rio)**



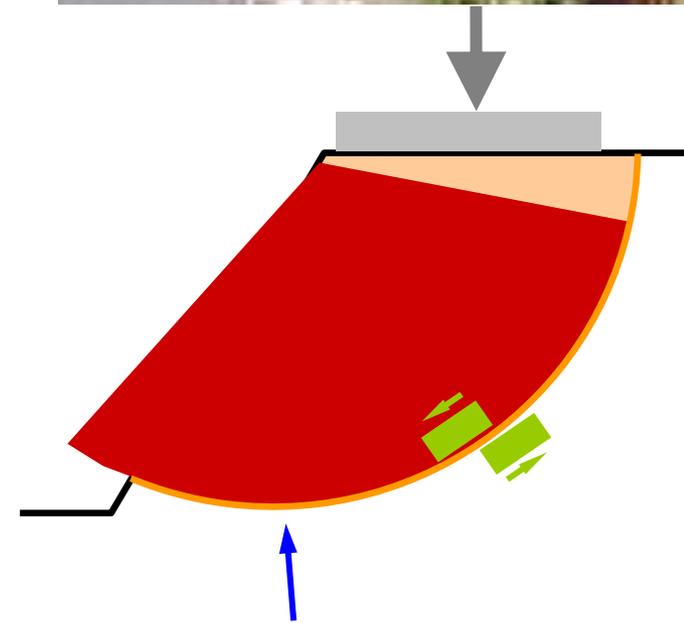
Ruptura Circular



SALVADOR/BA, AGOSTO DE 2005

Ruptura Circular

Salvador,
Brazil

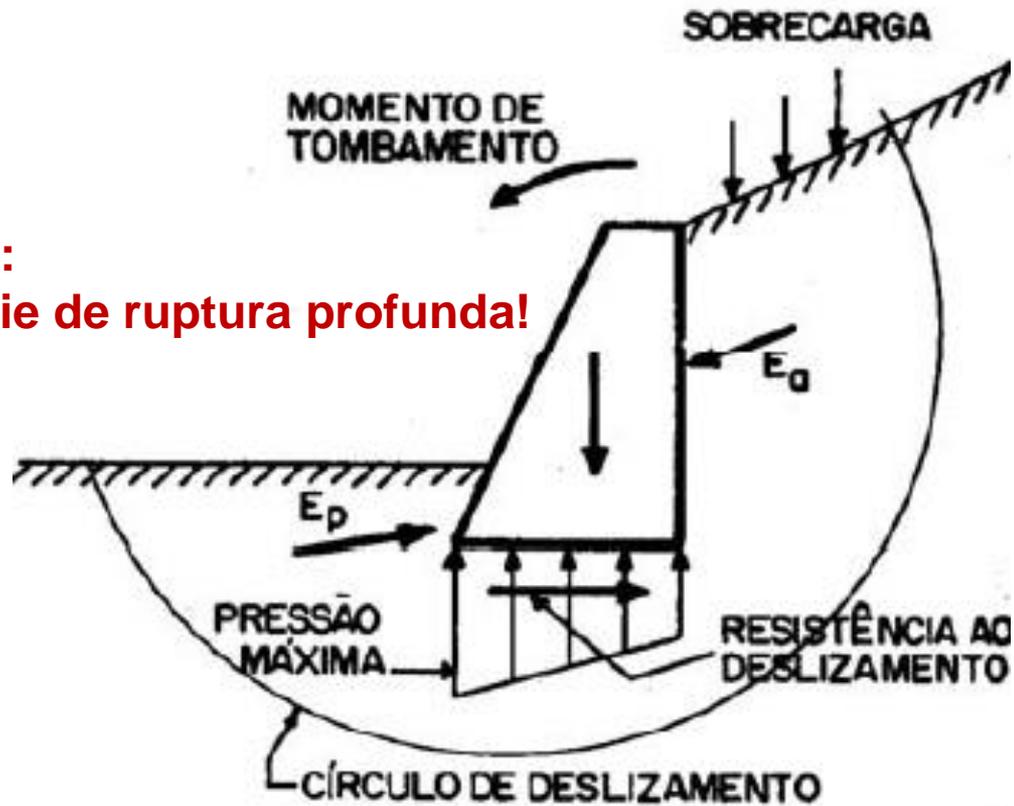


Deformações concentradas
na superfície

Ruptura Circular

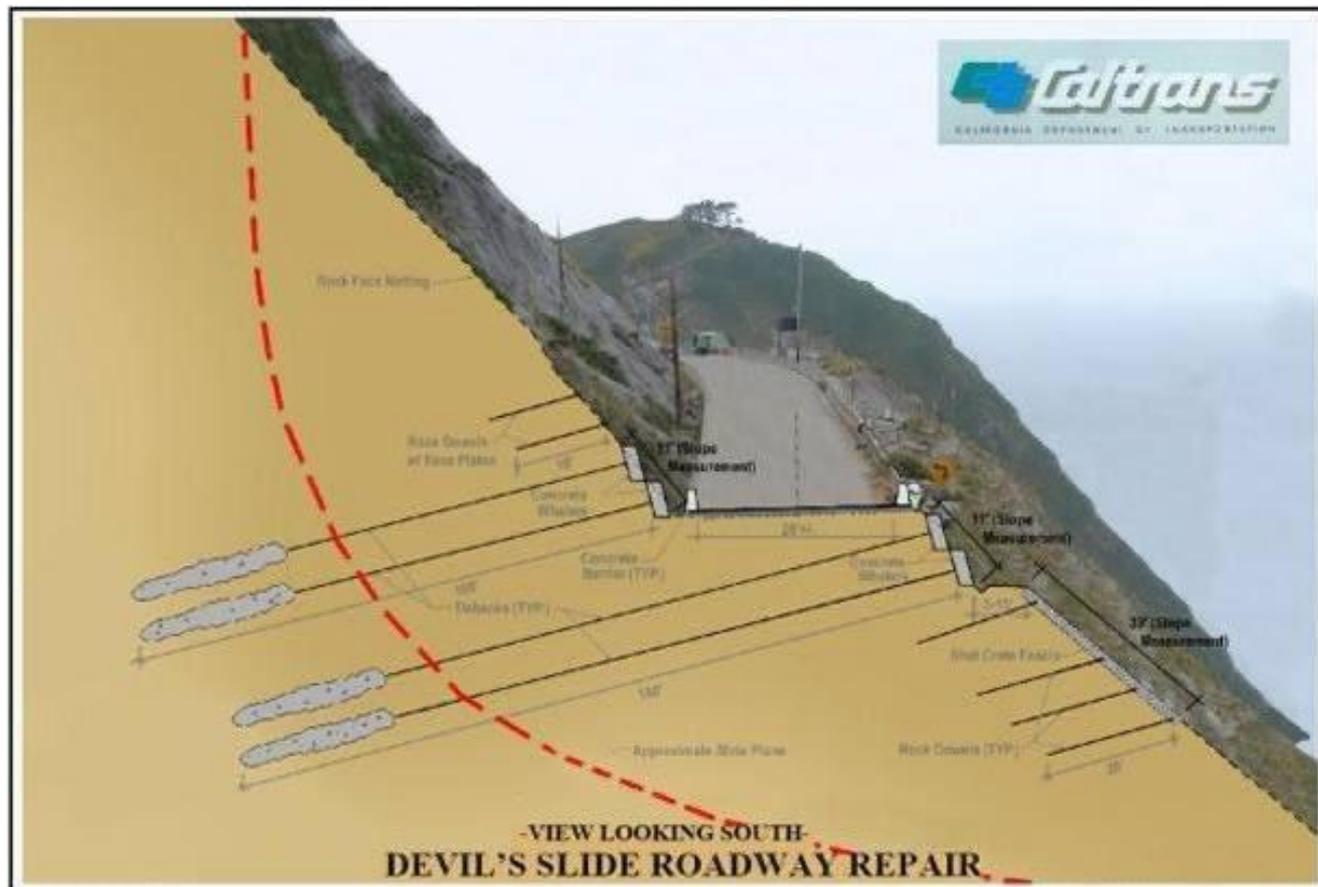


Cuidado:
Superfície de ruptura profunda!



Ruptura Circular

A chave para a estabilidade do talude é que a ancoragem exceda a superfície de ruptura estimada.



CARACTERÍSTICAS E GEOMETRIA DOS MOVIMENTOS DE MASSA

NUMBER	NAME	DEFINITION
1	Crown	Practically undisplaced material adjacent to highest parts of main scarp
2	Main scarp	Steep surface on undisturbed ground at upper edge of landslide caused by movement of displaced material (13, stippled area) away from undisturbed ground; it is visible part of surface of rupture (10)
3	Top	Highest point of contact between displaced material (13) and main scarp (2)
4	Head	Upper parts of landslide along contact between displaced material and main scarp (2)
5	Minor scarp	Steep surface on displaced material of landslide produced by differential movements within displaced material
6	Main body	Part of displaced material of landslide that overlies surface of rupture between main scarp (2) and toe of surface of rupture (11)
7	Foot	Portion of landslide that has moved beyond toe of surface of rupture (11) and overlies original ground surface (20)
8	Tip	Point on toe (9) farthest from top (3) of landslide
9	Toe	Lower, usually curved margin of displaced material of a landslide, most distant from main scarp (2)
10	Surface of rupture	Surface that forms (or that has formed) lower boundary of displaced material (13) below original ground surface (20); mechanical idealization of surface of rupture is called <i>slip surface</i> in Chapter 13

Fonte: CRUDEN & VARNES (1996).

CARACTERÍSTICAS E GEOMETRIA DOS MOVIMENTOS DE MASSA

11	Toe of surface of rupture	Intersection (usually buried) between lower part of surface of rupture (10) of a landslide and original ground surface (20)
12	Surface of separation	Part of original ground surface (20) now overlain by foot (7) of landslide
13	Displaced material	Material displaced from its original position on slope by movement in landslide; forms both depleted mass (17) and accumulation (18); it is stippled in Figure 3-4
14	Zone of depletion	Area of landslide within which displaced material (13) lies below original ground surface (20)
15	Zone of accumulation	Area of landslide within which displaced material lies above original ground surface (20)
16	Depletion	Volume bounded by main scarp (2), depleted mass (17), and original ground surface (20)
17	Depleted mass	Volume of displaced material that overlies surface of rupture (10) but underlies original ground surface (20)
18	Accumulation	Volume of displaced material (13) that lies above original ground surface (20)
19	Flank	Undisplaced material adjacent to sides of surface of rupture; compass directions are preferable in describing flanks, but if left and right are used, they refer to flanks as viewed from crown
20	Original ground surface	Surface of slope that existed before landslide took place

Fonte: CRUDEN & VARNES (1996).

DIMENSÕES DOS MOVIMENTOS DE MASSA

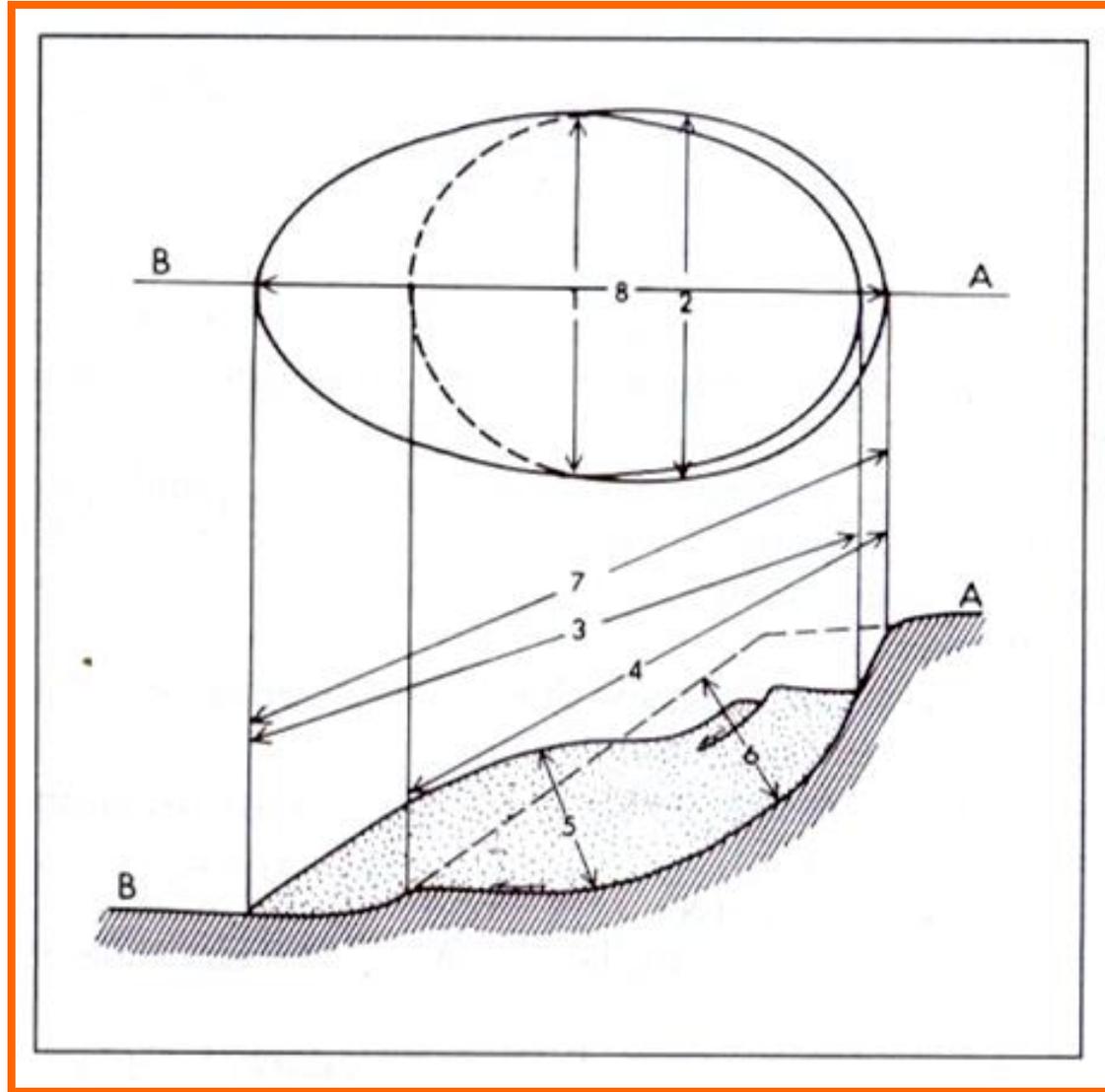


Figura 16. Geometria de um movimento de massa (IAEG Commission on Landslides, 1990).

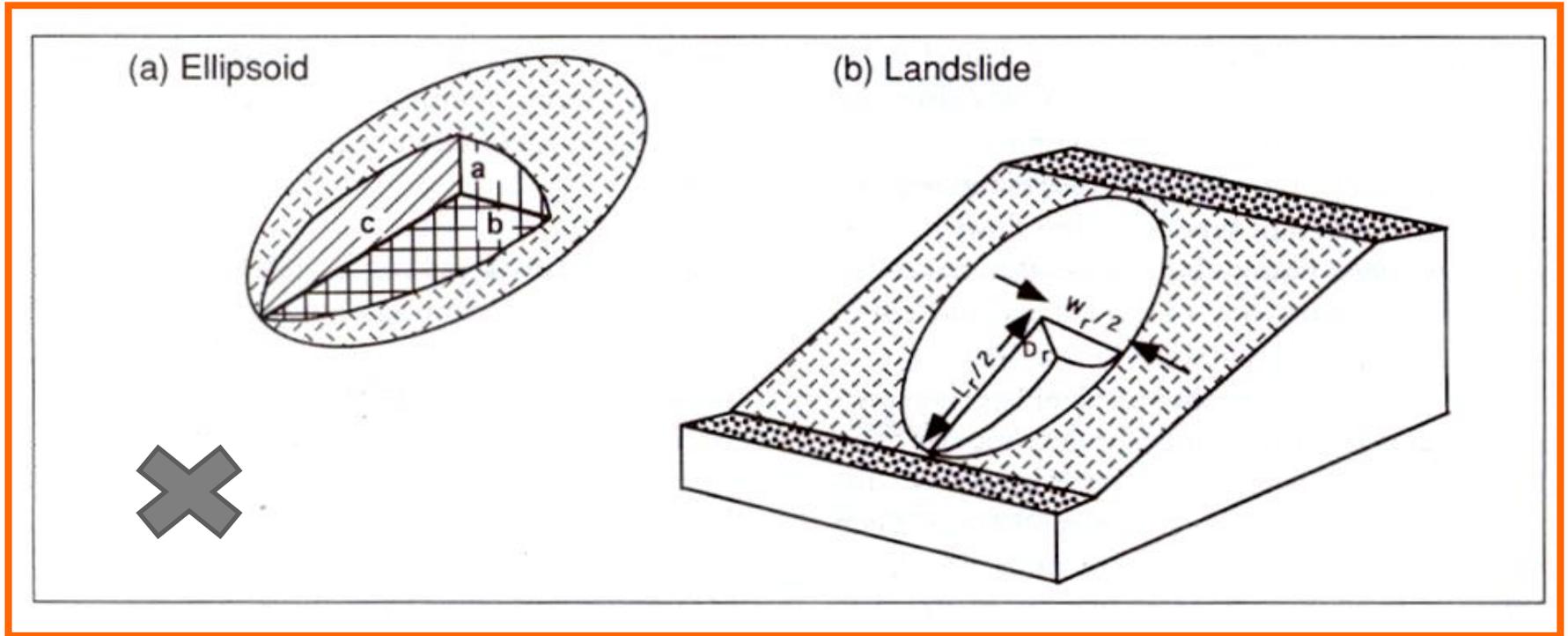
DIMENSÕES DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Definitions of Landslide Dimensions

NUMBER	NAME	DEFINITION
1	Width of displaced mass, W_d	Maximum breadth of displaced mass perpendicular to length, L_d
2	Width of surface of rupture, W_r	Maximum width between flanks of landslide perpendicular to length, L_r
3	Length of displaced mass, L_d	Minimum distance from tip to top
4	Length of surface of rupture, L_r	Minimum distance from toe of surface of rupture to crown
5	Depth of displaced mass, D_d	Maximum depth of displaced mass measured perpendicular to plane containing W_d and L_d
6	Depth of surface of rupture, D_r	Maximum depth of surface of rupture below original ground surface measured perpendicular to plane containing W_r and L_r
7	Total length, L	Minimum distance from tip of landslide to crown
8	Length of center line, L_{cl}	Distance from crown to tip of landslide through points on original ground surface equidistant from lateral margins of surface of rupture and displaced material

Fonte: CRUDEN & VARNES (1996).

DIMENSÕES DOS MOVIMENTOS DE MASSA



Pré-ruptura: $VOL = 4/6 \pi a.b.c = 4/6 \pi D_r W_r/2 \cdot L_r/2 = 1/6 \pi D_r \cdot W_r \cdot L_r$

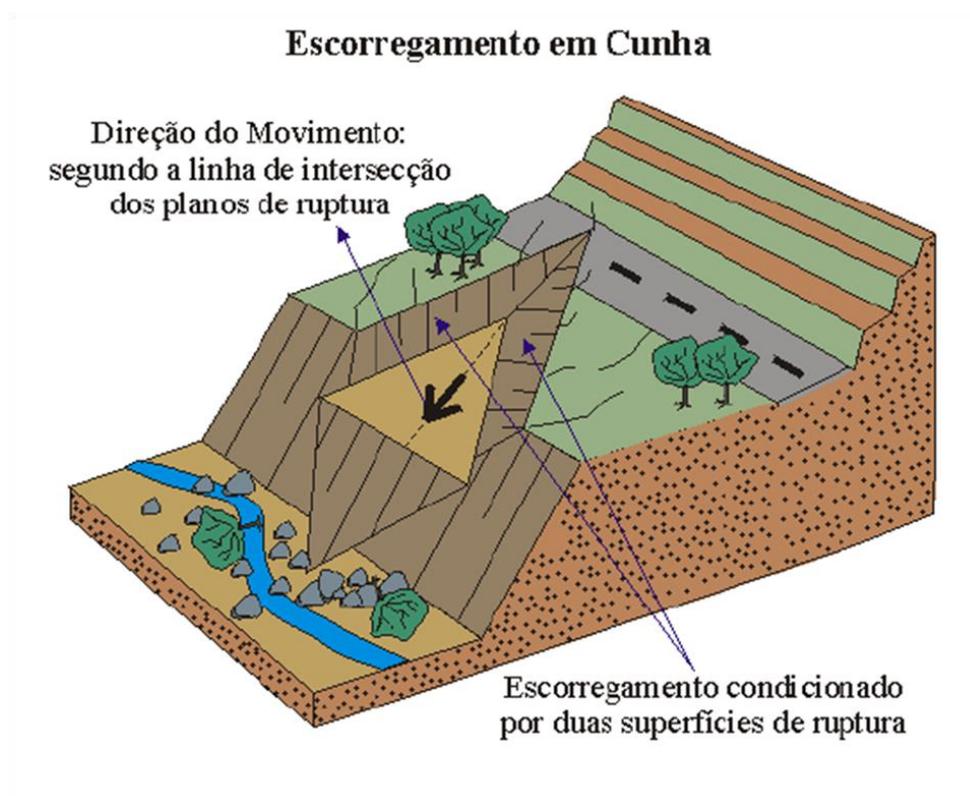
Pós-ruptura (dilatação): $VOL = 1/6 \pi D_d \cdot W_d \cdot L_d$

Figura 17. Estimativa do volume de um deslizamento CRUDEN & VARNES (1996).

Movimento de Massa

☐ Escorregamento:

- É o deslocamento finito ao longo de uma superfície definida de deslizamento, preexistente ou de neoformação;
- Podem ser:
 - Rotacionais (superfície circular);
 - **Translacionais** (superfície plana).



EXEMPLOS DE PROCESSOS - RJ

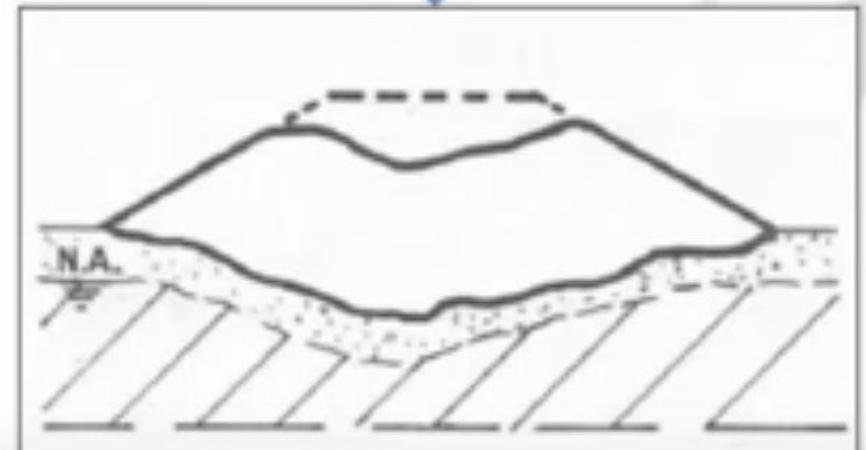


Deslizamento de rocha ao longo de juntas de alívio devido a corte do talude.

Movimento de Massa

☐ Subsidência:

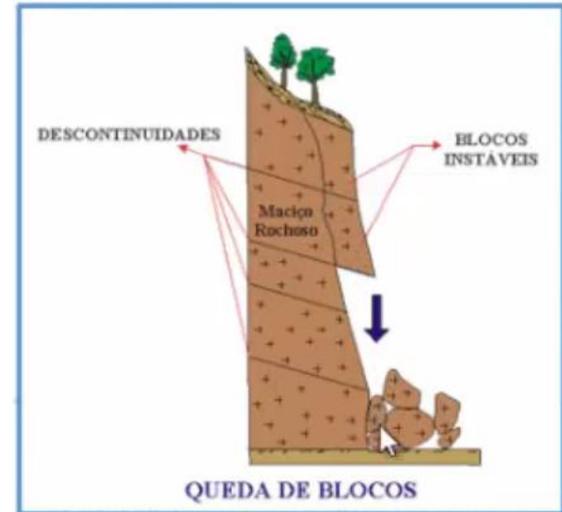
- É o deslocamento finito ao deformação contínua de direção essencialmente vertical:
- Podem ser:
 - **Recalques**: por expulsão de um fluido, verifica-se uma deformação global do solo, produzida pelos deslocamentos ou arranjos das partículas individuais;
 - Desabamento: deslocamento finito vertical, geralmente rápido

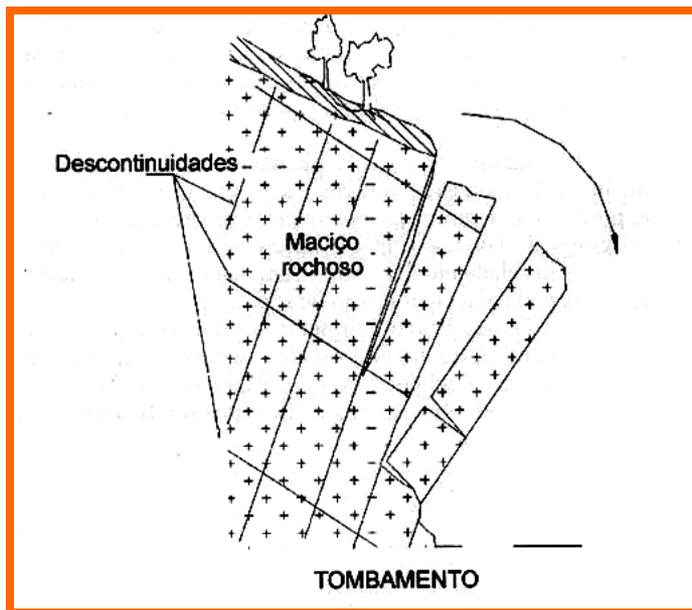
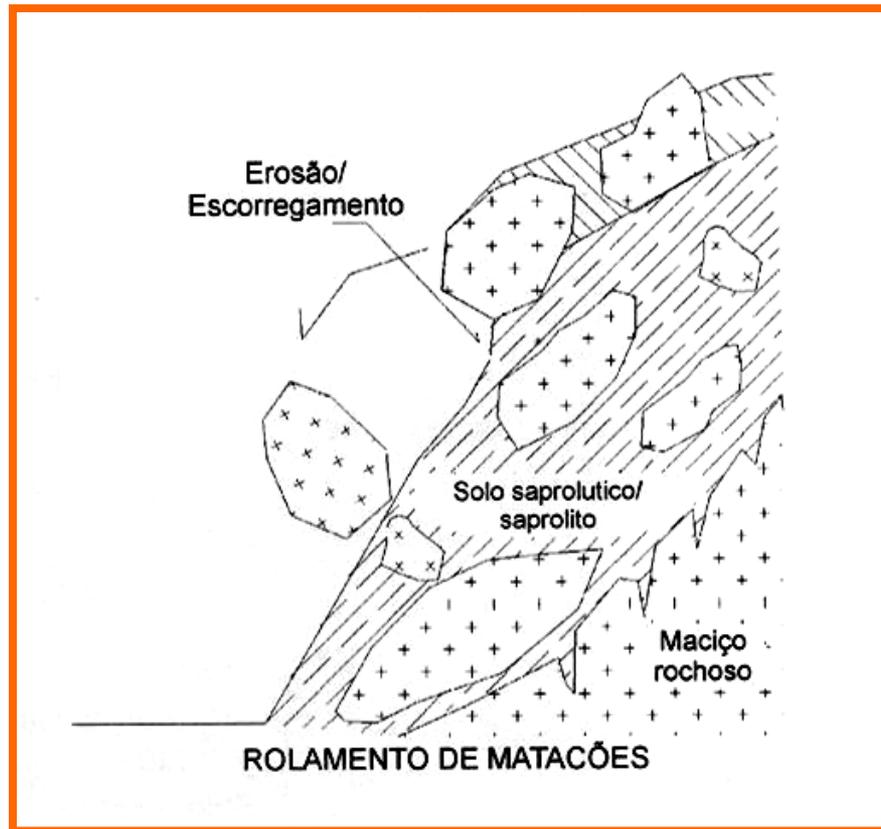
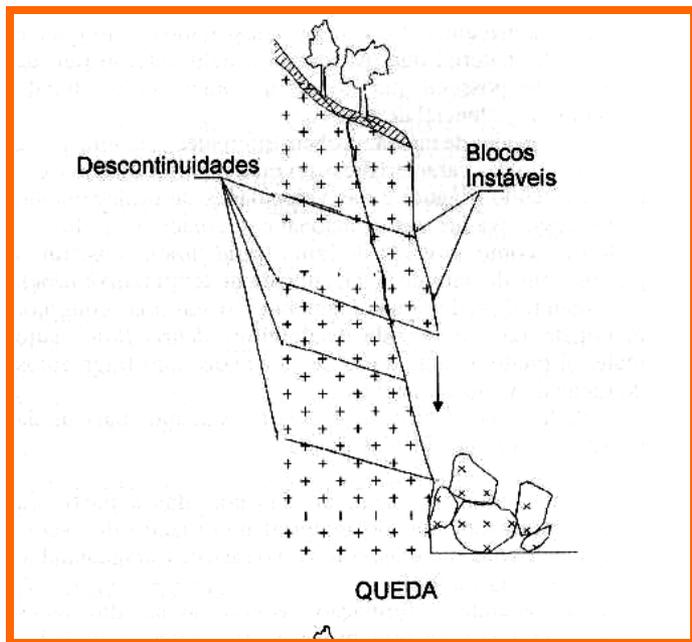


Movimento de Massa

☐ Subsidência:

- É o deslocamento finito ao deformação contínua de direção essencialmente vertical:
- Podem ser:
 - Recalques: por expulsão de um fluido, verifica-se uma deformação global do solo, produzida pelos deslocamentos ou arranjos das partículas individuais;
 - **Desabamento e tombamento:** deslocamento finito vertical, geralmente rápido

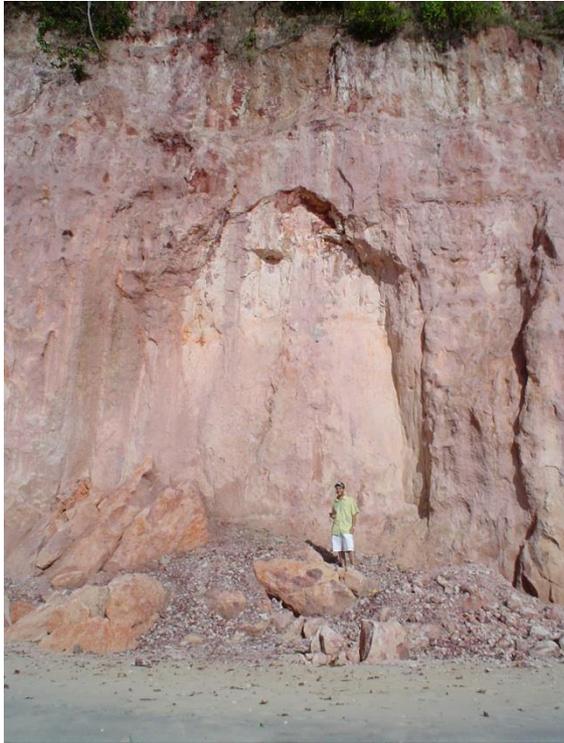




Queda, tombamento de blocos / lajes rochosas e rolamento de matações.



QUEDAS E TOMBAMENTOS



ROLAMENTO DE MATAÇÃO

